



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 199 50 146 A 1**

⑤1 Int. Cl.7:  
**F 02 D 41/18**  
F 02 D 21/08  
F 02 M 25/07

②1 Aktenzeichen: 199 50 146.7  
②2 Anmeldetag: 18. 10. 1999  
④3 Offenlegungstag: 27. 4. 2000

DE 199 50 146 A 1

③0 Unionspriorität:  
173995 16. 10. 1998 US  
⑦1 Anmelder:  
Cummins Engine Co., Inc., Columbus, Ind., US  
⑦4 Vertreter:  
WUESTHOFF & WUESTHOFF Patent- und  
Rechtsanwälte, 81541 München

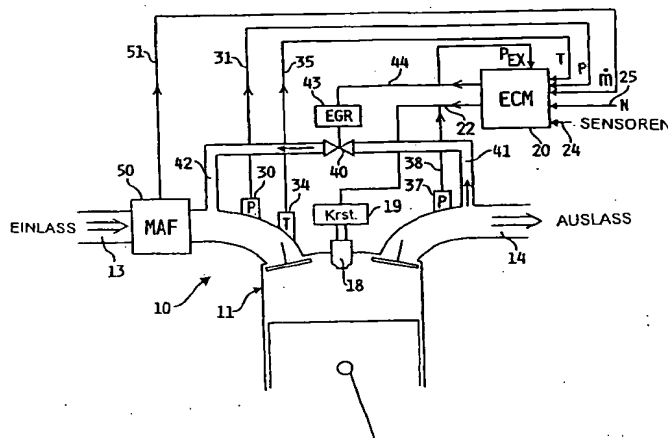
⑦2 Erfinder:  
He, Chuan, Columbus, Ind., US; Miller, Paul R.,  
Columbus, Ind., US

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 On-Line-Selbstkalibrierung von Luftmassensensoren in Verbrennungsmotoren

⑤7 In einem Verbrennungsmotor mit einem Abgasrückführsystem ist ein Luftmassen-(MAF)-Sensor (50) an dem Lufteinlaß (13) zu einem Motorzylinder (11) angeordnet. Bei Motoren mit einem Abgasrückführweg ist der MAF-Sensor (50) stromaufwärts dieses Weges angeordnet. Der MAF-Sensor (50) stellt einem Motorsteuermodul (20) Signale (51) zur Verfügung, die den dem Motor (10) zugeführten Luftmassenstrom angeben. Ein System und Verfahren zur On-Line-Selbstkalibrierung des MAF-Sensors (50) und der MAF-Werte (51) umfaßt ein Vergleichen des erfaßten MAF-Werts mit einem idealen MAF-Wert, der unter Verwendung von Daten von Sensoren ermittelt wird, die stromabwärts des MAF-Sensors (50) angeordnet sind. Wenn ein Vergleich der erfaßten mit den tatsächlich vorliegenden MAF-Werten zeigt, daß der MAF-Sensor (50) nicht kalibriert ist, wird eine Regressionsanalyse auf einige Datenpaare der MAF-Sensorausgabe und des idealen MAF-Werts angewendet, um das Verhältnis zwischen der MAF-Sensorausgabe und dem erfaßten MAF-Wert zu modifizieren.



DE 199 50 146 A 1

Die vorliegende Erfindung betrifft die Kalibrierung von Luftmassensensoren, insbesondere Sensoren, die bei Verbrennungsmotoren verwendet werden. Insbesondere betrifft die vorliegende Erfindung ein System und ein Verfahren zum Ausführen einer Kalibrierung online oder während des normalen Motorbetriebs. Ferner umfaßt die Erfindung einen Ansatz zur Selbstkalibrierung, bei dem neben den bereits in dem Motorsteuersystem vorhandenen keine zusätzlichen Instrumente oder Sensoren benötigt werden.

Ansaugluftmassen-(MAF)-Sensoren oder -Meßapparate werden in hohem Maße bei Verbrennungsmotoren verwendet, insbesondere seit der Verwendung von elektronischen Steuerungen für derartige Motoren. Eine typische Anwendung für einen MAF-Sensor ist die Regulation des Luft/Kraftstoff-Verhältnisses, das jedem Motorzylinder zugeführt wird. Bei einer solchen Anwendung empfängt das Motorsteuermodul (ECM) von dem MAF-Sensor Signale, die die Luftmasse angeben, die in den (die) Zylinder des Motors angesaugt wird. Das Steuermodul steuert dann die Kraftstoffeinspritzanordnung so an, daß eine bestimmte Menge Kraftstoff in den (die) Zylinder befördert wird, um vorgegebene Luft/Kraftstoff-Verhältnisse aufrechtzuerhalten. Diese Verhältnisse können auf Software-Algorithmen basieren, die in dem Steuermodul gespeichert sind und von demselben ausgeführt werden, oder auf einer Tabellennachschlagesequenz, die ebenfalls von dem Steuermodul ausgeführt wird und in demselben gespeichert ist.

Bei einer anderen Anwendung werden MAF-Sensoren bei der Abgasrückführ-(EGR)-Steuerung verwendet. Um die immer strenger werdenden Schadstoffemissionsverordnungen einzuhalten, enthalten die meisten Verbrennungsmotoren eine Form einer Abgasrückführ-(EGR)-Einrichtung. Bei einem typischen Abgasrückführsystem ist eine Leitung zwischen dem Zylinderauslaß und dem Zylindereinlaß angebracht, um einen bestimmten Abgasanteil in den Einlaßluftstrom zurückzuführen. In dem Abgasrückstromweg ist ein Ventil angeordnet, um die zurückgeführte Abgasmenge zu steuern. Während Abgasrückführsysteme die Steuerung der NO<sub>x</sub>-Emissionen des Motors positiv beeinflussen, beeinflussen diese Systeme die Motorleistung und andere Emissionen negativ, es sei denn, daß die Abgasrückführeinrichtung im Verhältnis zur Ansaugluftmasse gut gesteuert wird. Der MAF-Sensor stellt dem Steuermodul daher Daten zur Verfügung, die in Abgasrückführsteuerungen verwendet werden, um den Betrag zu bestimmen, bei dem das Abgasrückführ-(EGR)-Ventil geöffnet werden soll, oder es werden andere Maßnahmen durchgeführt, die den Abgasrückstrom beeinflussen, um dadurch die Rückführung von Abgasen in den Ansaugluftstrom zu steuern.

Bei den meisten Anwendungen von Verbrennungsmotoren wird der MAF-Sensor abgefragt, um transiente Luftstrominformationen über sehr große Strömungsbereiche zwischen dem Leerlaufzustand und dem Vollgaszustand des Motors zu erhalten. Beispielsweise kann bei einem typischen Dieselmotor, der eine Abgasrückführeinrichtung verwendet, die Strömung der frischen Ansaugluft ein Max./Min.-Verhältnis von 20 : 1 oder mehr haben.

Wie jeder Sensor, ob elektrischer, elektromechanischer oder mechanischer Sensor, ist der MAF-Sensor mit Ausgabefehlern behaftet. Nach der Herstellung kann ein Sensor typischerweise einen Fehler von  $\pm 3\%$  aufweisen. Beim Einbau des Sensors kann dieser Fehler aufgrund von nicht-kompensierten Einbaueffekten auf nahezu 20% anwachsen.

Thermische MAF-Sensoren sind für Probleme bei der Beibehaltung der Genauigkeit ihrer Ausgabemeßwerte im Verlauf der Lebensdauer des Motors besonders anfällig. Um diese Probleme zu lösen, können die MAF-Sensoren rekali-briert werden, wenn der Motor abgeschaltet, d. h. offline ist. Viele Systeme wurde für diesen Off-Line-Kalibrierprozess entwickelt. Ein anderes Problem beim Rekali-brieren der Sensoren besteht darin, daß die Kalibrierung normalerweise von spezifischen Merkmalen des speziellen Motors und der Ansaugluftsystemanordnung abhängen. In den meisten Fällen erfordert der MAF-Sensor eine installationsspezifische Kalibrierung, was bedeutet, daß der die Kalibrierung durchfüh-rende Techniker motorspezifische Daten kennen muß, um den MAF-Sensor exakt rekali-brieren zu können. Die meisten bekannten Off-Line-Kalibrierverfahren werden von Kunden und ebenso von Technikern abgelehnt, so daß die bevor-zugte Vorgehensweise darin besteht, die Einheit vollständig auszutauschen, sobald man davon ausgeht, daß ein Sensor die Spezifikationen nicht mehr erfüllt.

Eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein System und Verfahren für eine On-Line-Rekalibrierung von Luft-massewerten bereitzustellen, die von einem MAF-Sensor erzeugt und von Motorsteuerroutinen verwendet werden. Ferner sollen bei der Rekali-brierung basierend der Verschlechterung der MAF-Sensorausgabe Grenzwerte ermittelt werden.

Um die Probleme bei bekannten Off-Line-Rekalibrieransätzen zu lösen, betrifft die vorliegende Erfindung ein System und ein Verfahren zur On-Line-Rekalibrierung des MAF-Sensors oder genauer der erfaßten MAF-Werte, die aus der Größe der Ausgabe des Sensors hergeleitet werden. Da sich die vorliegende Erfindung mit einer elektronischen oder soft-warebasierten Rekali-brierung befaßt, wird der MAF-Sensor selbst nicht verändert, so daß er nicht von dem Motor ent-fert werden muß. Die Systeme und Verfahren der vorliegenden Erfindung werden im Motorbetrieb insbesondere ange-wandt, wenn das Abgasrückführventil momentan geschlossen sein kann.

Gemäß bestimmten Aspekten der vorliegenden Erfindung wird ein vorbestimmtes Verhältnis zwischen der Ausgangs-spannung des MAF-Sensors und einem Luftmassewert aufrechterhalten, das von den Motorsteuerroutinen verwendet wird. Dieses vorgegebene Verhältnis wird als eine Vielzahl modifizierbarer Werte in einem Speicher abgelegt. Bei einer Ausführungsform entsprechen diese Werte Konstanten einer nicht-linearen Gleichung, die die MAF-Spannung zu einem MAF-Wert in Relation setzt. Bei einer speziellen Ausführungsform hat diese Gleichung die Form:

$$m_{air} = a(V_{MAF} + b)^c,$$

wobei die Konstanten a, b und c die modifizierbaren, in dem Speicher gespeicherten Werte sind. Bei dieser Ausführungs-form werden die Konstanten anfänglich festgelegt, wenn der Motor neu ist, und bleiben solange unverändert, bis der MAF-Sensor nicht mehr kalibriert ist. Der MAF-Wert  $m_{air}$  wird von verschiedenen Motorsteuerroutinen verwendet, bei-spielsweise von Routinen, die die Emissionssteuerungen regeln.

Ein weiteres Merkmal dieser Ausführungsform der Erfindung ist, daß in dem Speicher ein Rekali-brierpuffer verwen-det wird. Der Rekali-brierpuffer enthält Paare zugeordneter Daten einer MAF-Ausgangsspannung  $V_{MAF}$  und eines idea-len MAF-Werts, der von einem ideal kalibrierten MAF-Sensor erzeugt werden würde. Bei einer Ausführungsform wird

dieser ideale MAF-Wert aus einem vorbestimmten Verhältnis ermittelt, das Ausgaben von anderen Motorzustandssensoren als dem MAF-Sensor berücksichtigt. Bei einer speziellen Ausführungsform umfassen diese Motorzustandssensoren Temperatur- und Drucksensoren, die stromabwärts des MAF-Sensors und des Abgasrückführweges an dem Ansaugkrümmer angeordnet sind. Die vorliegende Erfindung nutzt Charakteristika von Zylinderluftmengen, bei denen der ideale, auf den Zustandssensoren basierende MAF-Wert im wesentlichen mit dem erfaßten MAF-Wert für einen korrekt kalibrierten MAF-Sensor übereinstimmt, wenn das Abgasrückführventil geschlossen ist.

Bei einer bevorzugten Ausführungsform wird ein Rekalibrierungsverfahren angewandt, wenn der Unterschied zwischen dem erfaßten MAF-Wert und dem idealen MAF-Wert einen vorgegebenen Grenzwert überschreitet. Gemäß diesem Merkmal wird eine Regressionsanalyse der Paare zugeordneter Daten durchgeführt, die in dem Rekalibrierpuffer gespeichert sind. Bei der dargestellten Ausführungsform erzeugt diese Regressionsanalyse neue Konstanten a, b und c, so daß die vorgegebene Verhältnisgleichung in angemessener Weise das Verhältnis zwischen der MAF-Spannung und dem idealen MAF-Wert jedes Paares definiert. Die Ergebnisse der Regressionsanalyse werden ausgewertet, um zu festzustellen, ob die Analyse bestimmte zuvor festgelegte Qualitätsstandards erfüllt. Beispielsweise kann eine  $r^2$ - oder RMS-Auswertung, d. h. eine Auswertung des mittleren quadratischen Fehlers (RMS = root mean square), verwendet werden, um sicherzustellen, ob die tatsächlichen Datenpaare in angemessener Weise durch die resultierende modifizierte Gleichung wiedergegeben werden.

Wenn die Regressionsqualitätsstandards erfüllt sind, werden die berechneten Massenstromwerte unter Verwendung der neuen Regressionskonstanten a, b und c mit den berechneten Werten unter Verwendung der vorherigen Regressionskonstanten verglichen. Wenn der Unterschied zwischen den vorherigen und den aktuell vorliegenden Werten zu groß ist, wird der MAF-Sensor zur Korrektur als sich zu weit außerhalb des Kalibrierbereichs befindend gekennzeichnet. Wenn der Unterschied innerhalb der Grenzwerte liegt, werden die neuen Regressionskonstanten in dem Speicher gespeichert, um nachfolgend beim Berechnen des MAF-Werts  $m_{air}$  verwendet zu werden, der von den Steuermodul-Motorsteuerroutinen verwendet wird. In einigen Fällen kann ein Vergleich unmittelbar zwischen den aktuellen und vorherigen Regressionskonstanten a, b und c durchgeführt werden, um das Ausmaß der Fehlkalibrierung des Sensors zu bestimmen.

Gemäß der bevorzugten Ausführungsform wird vorausgesetzt, daß der Prozeß der Bewertung der erfaßten und der tatsächlich vorliegenden MAF-Werte über einige Zyklen stattfindet. Folglich enthält der Rekalibrierpuffer mehrere Datenpaare, die bei der Regressionsanalyse verwendet werden.

Bei einer alternativen Ausführungsform der Erfindung wird das vorgegebene Verhältnis zwischen der MAF-Ausgangsspannung und dem MAF-Wert in einer adaptiven Nachschlagetabelle abgelegt, die in dem Speicher gespeichert ist. Bei dieser Ausführungsform wird eine Vielzahl von diskreten Spannungswerten mit entsprechenden MAF-Werten paarweise zusammengefaßt. Vergleichbar mit der vorherigen Ausführungsform, beruht das bei dieser Ausführungsform implementierte Verfahren auf einem Vergleich zwischen erfaßten und idealen MAF-Werten, wenn das Abgasrückführventil geschlossen ist. Das Ergebnis des Vergleichs kann verwendet werden, um zu festzustellen, ob die Einträge in die adaptive Nachschlagetabelle modifiziert sind. Bei einer speziellen Ausführungsform kann die Größe des Unterschieds zwischen den erfaßten und idealen MAF-Werten verwendet werden, um die Größe der Modifikation der Tabelleneinträge zu bestimmen. Vorzugsweise werden die entsprechenden MAF-Werte resultierend aus dem Vergleich inkremental verändert.

Ein Vorteil der vorliegenden Erfindung besteht darin, daß die Rekalibrierung der MAF-Sensorausgabe elektronisch und nicht physikalisch durchgeführt wird, so daß sie während des normalen Betriebs des Motors stattfinden kann. Ein weiterer, durch die Erfindung erreichter Vorteil besteht darin, daß die Rekalibrierung während der gesamten Lebensdauer des MAF-Sensors und/oder des Motors kontinuierlich stattfinden kann. Die Systeme und Verfahren der Erfindung erlauben eine On-Line-Bestimmung des Zustands des MAF-Sensors, so daß ein Sensor identifiziert werden kann, der sich außerhalb des Kalibrierbereichs befindet.

Diese und andere Aufgaben und Vorteile der vorliegenden Erfindung können aus der folgenden Beschreibung und den beigefügten Figuren entnommen werden.

Fig. 1 ist eine schematische Darstellung eines elektronisch gesteuerten Verbrennungsmotors, der ein Abgasrückführungssystem und einen Luftmassensensor enthält;

Fig. 2 ist ein Flußdiagramm einer Folge von Schritten, die von einem Steuermodul zur On-Line-Kalibrierung eines Ansaugluftmassensensors ausgeführt werden;

Fig. 3 ist eine Kurvendarstellung, die repräsentativ eine MAF-Sensorausgabe im Verhältnis zu Daten eines physikalischen Massenstroms zeigt;

Fig. 4 ist ein Flußdiagramm einer Folge von Schritten, die von einem Steuermodul gemäß einer weiteren Ausführungsform der erfindungsgemäßen On-Line-MAF-Sensor-Kalibrierung ausgeführt werden;

Fig. 5 ist ein Flußdiagramm einer Folge von Schritten, die gemäß einer zusätzlichen Ausführungsform der Erfindung durchgeführt werden, wobei Regressionsanalysetechniken verwendet werden.

Die vorliegende Erfindung betrifft ein System und ein Verfahren zur On-Line-Kalibrierung eines Luftmassen-(MAF)-Sensors für einen Verbrennungsmotor. Bei den bevorzugten Ausführungsformen wird der Motor elektronisch gesteuert und verwendet in Verbindung mit bestimmten Motorsteueralgorithmen Signale des MAF-Sensors. Die Motorsteueralgorithmen verwenden zusammen mit Daten von anderen Motorzustandssensoren die Luftmassenstromdaten, um Ausgangssignale zu erzeugen, um beispielsweise die Kraftstoffzufuhr zu einem Zylinder und den zeitlichen Ablauf des Kraftstoffeinspritzung zu steuern. Es versteht sich, daß die vorliegende Erfindung für MAF-Sensoren bei vielen Motorkonfigurationen angewandt werden kann, wie z. B. bei Diesel- oder Benzinmotoren, bei turbogeladenen oder kompressorgeladenen Motoren sowie bei Motoren mit oder ohne Abgasrückführung.

Ein typischer Motor 10 ist in Fig. 1 gezeigt, der Motorzylinder 11 umfaßt, denen Luft durch einen Ansaugkrümmer 13 zugeführt wird. Das Verbrennungsprodukt in den Zylindern 11 wird durch den Abgaskrümmer 14 abgeführt. Flüssiger Kraftstoff wird durch einen Kraftstoffeinspritzer 18 zugeführt, der von einer Hochdruckkraftstoffquelle 19 (wie z. B. eine Kraftstoffpumpe, eine Einspritzeinheit, eine Pumpeinheit oder eine Common-Rail-Einheit) versorgt wird.

Der Motor 10 umfaßt ein Motorsteuermodul (ECM) 20, das in Abhängigkeit von den in dem Steuermodul gespeicherten Motorsteueralgorithmen Steuersignale 22 der Hochdruckkraftstoffquelle 19 zuführt. Das Steuermodul 20 erhält von

einer Vielzahl von Motorzustandssensoren Eingaben 24 und von einem Motordrehzahlsensor eine Drehzahleingabe 25. Ein Drucksensor 30 und ein Temperatursensor 34 sind am Ansaugkrümmer 13 angebracht, um den Zustand der Ansaugluft zu ermitteln, die dem/den Motorzylinder(n) 11 zugeführt wird. Die Sensoren 30, 34 erzeugen Signale 31 bzw. 35, die Ansauglufttemperatur und -druck angeben und dem Steuermodul 20 zugeführt werden. Ein zusätzliches Eingangssignal 38 wird von einem Abgasdrucksensor 37 erzeugt, der an dem Abgaskrümmer 14 angeordnet ist. Alle diese Eingangssignale werden gemäß verschiedener Algorithmen verwendet, die von dem Steuermodul ausgeführt werden, um die Motorleistung zu steuern.

Gemäß einem weiteren Aspekt des Motors 10 ist zwischen einer Abgasrückführ-Einlaßleitung 41 und einer Auslaßleitung 42 ein Abgasrückführventil 40 angebracht. Die Einlaßleitung 41 steht mit dem Abgaskrümmer 14 in Verbindung, um einen bestimmten Anteil der Abgase zu erhalten. Das Ventil 40 steuert den Abgasstrom von der Einlaßleitung 41 zu der Auslaßleitung 42. Die Auslaßleitung 42 steht mit dem Ansaugkrümmer 13 in Verbindung, um die Rückführung dieser Abgase zu ermöglichen. Der Stellung des Abgasrückführventils 40 wird von einer Abgasrückführ-Steuereinheit 43 bestimmt. Die Abgasrückführ-Steuereinheit 43 spricht auf Signale 44 an, die von dem Steuermodul 20 erzeugt werden.

Da rückgeführte Abgase eine negative Wirkung auf den Verbrennungsprozeß haben können, wird die Abgasmenge in Relation zur Luftmassenstrom durch den Ansaugkrümmer 13 gesteuert. Folglich wird ein Luftmassensensor 50 verwendet, um ein diese Messung angegebendes Signal 51 zu erzeugen. Die dem Steuermodul 20 zugeführten Signale legen den Luftmassewert fest, der von den Motorsteuerrouinen verwendet wird.

In einer speziellen Routine wird ein Abgasrückführverhältnis berechnet. Das Abgasrückführverhältnis gibt das Verhältnis des Massenstroms des rückgeführten Abgases zu dem gesamten, den Zylindern 11 zugeführten Massenstrom wieder. Der Abgasrückstrom kann durch die Differenz zwischen dem gesamten Ansaugluftmassenstrom und dem Eingangsluftmassenstrom vor der Auslaßleitung 42 des Abgasrückführsystems wiedergegeben werden. Somit kann das Abgasrückführ-(EGR)-Verhältnis durch die folgende Gleichung wiedergegeben werden:

$$(1) \quad EGR - \text{Verhältnis} = \frac{\dot{m}_{EGR}}{\dot{m}_{Chg}} = \frac{(\dot{m}_{Chg} - \dot{m}_{Air})}{\dot{m}_{Chg}}$$

Die Ausgabe des MAF-Sensors 50 repräsentiert den Eingangsluftmassenstrom  $\dot{m}_{air}$ . Der erfaßte Luftmassenstrom wird von einem berechneten Ansaugluftmassenstrom  $\dot{m}_{chg}$  abgezogen, um den Wert  $\dot{m}_{egr}$  zu erhalten. Der Wert  $\dot{m}_{egr}$  oder das Abgasrückführverhältnis der Gleichung (1) kann anderen Motorsteuralgorithmen zugeführt werden, die vom dem Steuermodul 20 ausgeführt werden. Andere Verfahren zum Bestimmen von  $\dot{m}_{egr}$  sind möglich und können gemeinsam mit der hier beschriebenen Methodik verwendet werden.

Der gesamte Ansaugluftmassenstrom  $\dot{m}_{chg}$  kann mittels einer bekannten Gleichung für einen Verbrennungsmotor ermittelt werden, beispielsweise für einen Viertaktmotor. Gemäß dieser Gleichung gilt:

$$(2) \quad \dot{m}_{chg} = \eta_{vol} \left( \frac{P_{Chg} \times V_D}{R_{Chg} \times T_{Chg}} \right) \left( \frac{N}{2} \right)$$

Der Ansaugluftmassenstrom ist eine Funktion des Drucks der Ansaugluft, der von dem Drucksensor 30 gemessen wird, und der Ansaugluft-Mischungstemperatur, die von dem Temperatursensor 34 gemessen wird. Zusätzlich ist der gesamte Ansaugluftmassenstrom eine Funktion der Motordrehzahl N. Der Wert  $\eta_{vol}$  ist der volumetrische Wirkungsgrad des Motors, während  $V_D$  der Hubraum des Motors ist. Die Konstante  $R_{Chg}$  ist die Gaskonstante der Ansaugluftmischung, während  $P_{Chg}$  und  $T_{Chg}$  der absolute Gasdruck bzw. die Temperatur der Ansaugluft ist. Mit der Gleichung (2) kann der Massenstrom der in die Zylinder 11 angesaugten Luft berechnet werden. Der Sensoren, nämlich die Motordrehzahl-, Druck- und Temperatursensoren, die für diese Berechnung Informationen liefern, sind für Fehler und Verschleißerscheinungen weniger anfällig als der Luftmassenstromsensor 50. Jedenfalls ist, wie in der ersten Gleichung ausgedrückt, das Abgasrückführverhältnis eine Funktion, die in hohem Maße von dem vom MAF-Sensor gemessenen Ansaugluftmassenstrom abhängt. In der Praxis ist die Berechnung des Abgasrückführverhältnisses hinsichtlich kleiner Fehler im Eingangsluftmassenstrom sehr empfindlich. Es ist wichtig, daß der MAF-Sensor 50 während der gesamten Lebensdauer des Motors seine Kalibriergenauigkeit beibehält.

Das Steuermodul 20 enthält erfindungsgemäß eine Softwareroutine, die die On-Line-Kalibrierung des MAF-Sensors 50 durchführt. Selbstverständlich kann auch eine zusätzliche Steuereinheit oder ein Mikroprozessor verwendet werden, um die Softwareroutine auszuführen, wenn dies für spezielle Motoranwendungen erforderlich ist. Wie in dem Flußdiagramm von Fig. 2 abgebildet, ändert die Routine das Ausgangssignal 51 des MAF-Sensors 50 nicht. Statt dessen rekali-briert die Softwareroutine den konditionierten MAF-Wert, der von den Steuermodul-Routinen verwendet wird.

Der in dem Flußdiagramm von Fig. 2 gezeigte Startschritt 60 wird von der Software in dem Steuermodul 20 initiiert. Die Software spricht auf einen in den Motorsteuermodulen angezeigten Fehlerzustand oder auf eine externe Anfrage an, die beispielsweise von einer tragbaren Motordiagnoseeinrichtung erzeugt wird. Bei der bevorzugten Ausführungsform finden die Schritte des erfindungsgemäßen Verfahrens mit anderen, von dem Steuermodul 20 ausgeführten Motorsteuer-routinen kontinuierlich statt. Durch diese Vorgehensweise wird die Kalibrierung des MAF-Sensors kontinuierlich bewert-et und die Leistung desselben über die Lebensdauer des Motors aufrechterhalten.

Alternativ kann das Steuermodul den On-Line-Kalibriervorgang zu vorbestimmten Intervallen beginnen, die auf der tatsächlichen Zeit oder der Fahrleistung des Motors basieren. Beispielsweise kann die Software in dem Steuermodul die Folge im Schritt 60 alle 5000 Meilen des Motorbetriebs starten. Wenn dieser alternative Ansatz verwendet wird, kann ein Konditionalschritt 61 aufgenommen werden, um zu bestimmen, ob der MAF-Sensor kalibriert werden soll. Ist dies nicht der Fall, wird die Routine bei 61 zurückgeschleift.

Vorzugsweise läuft die Sensorrekalibrierabfolge kontinuierlich ab, wenn der Motor läuft. Folglich wird der Luftmas-

sesensor 50 kontinuierlich bewertet und seine Leistung über die Lebensdauer des Motors aufrechterhalten. Die mit Schritt 60 beginnende Rekalibrierabfolge wird mit anderen Steuermodul-Steuerrouinen wiederholt ausgeführt. In diesem Fall können die Konditional- und Zurückschleifschritte 61, 61a weggelassen werden und der Programmablauf kann unmittelbar zu Schritt 62 übergehen.

In einem Konditionalschritt 62 wird festgestellt, ob der Motor in einem stationären Zustand (d. h. mit konstanter Drehzahl) arbeitet. Die dynamischen Verhältnisse des Luftstroms durch den Ansaugkrümmer können zu Unterschieden im Massenstrom zwischen dem Einlaß des Krümmers und dem Ansaugventil an dem/den Motorzylinder(n) führen. In einem stationären Zustand entspricht der an dem MAF-Sensor 50 erfaßte Luftstrom im wesentlichen dem Luftstrom in den/die Motorzylinder. In diesem Betriebszustand kann die erfaßte Luftmasse mit dem berechneten Ansaugluftstrom unter Verwendung der obigen Gleichung (2) verglichen werden.

Der stationäre Betriebszustand kann auf eine Vielzahl von Arten ermittelt werden, indem die verschiedenen Sensoren, die Signale dem Steuermodul 20 zuführen, ausgelesen werden. Beispielsweise können das Motordrehzahlsignal 25 und die Eingangsluftdruck- und Temperatursignale 31 und 35 während eines vorbestimmten Zeitintervalls ausgewertet werden. Wenn diese drei Signale innerhalb dieses Zeitintervalls in einen vorbestimmten Bereich fallen, arbeitet der Motor in einem stationären Betriebszustand. Die Routine läuft entlang der Schleife 62 zyklisch ab, bis ein stationärer Betriebszustand hergestellt ist.

In dem nächsten Schritt 63 wird bestimmt, ob das Abgasrückführventil 40 während des normalen Motorbetriebs bereits geschlossen ist. Ist dies der Fall, folgt der Programmablauf dem Bypass 64. Andernfalls wird das Abgasrückführventil 40 in Schritt 65 geschlossen. In diesem Schritt sendet das Steuermodul 20 ein Signal 44 zur Steuereinheit 43 der Abgasrückföhreinrichtung, um die Steuereinheit anzuweisen, das Ventil 40 zu schließen, wodurch der zurückgeführte, Abgasstrom zurück zu der dem/den Zylinder(n) 11 zugeführten Eingangsluft unterbrochen wird. Wenn das Abgasrückführventil geschlossen ist, führt das Steuermodul andere Routinen aus, um den Effekt der geänderten Emissionssteuerung zu kompensieren, beispielsweise durch den zeitlichen Ablauf der Einspritzung. Es versteht sich, daß die Merkmale des MAF-Sensor-Rekalibrierverfahrens auch bei Motoren genutzt werden können, die kein Abgasrückführsystem enthalten. Bei diesen Motoren können die Schritte 63-65 weggelassen werden.

Sobald das Abgasrückführventil geschlossen ist, wird in dem Konditionalschritt 66 erneut bestimmt, ob der Motor in einem stationären Zustand arbeitet. Ist dies nicht der Fall, wird die On-Line-Routine mit der Schleife 67 fortgesetzt, bis der Motor einen stationären Betriebszustand erreicht. Dann werden in Schritt 68 über die verfügbaren Sensoren relevante Daten erfaßt. Insbesondere die Temperatur und der Druck der Eingangsluft werden von den Sensoren 30 bzw. 34 erfaßt, wobei die Werte dem Steuermodul 20 als Signale 31 und 35 zugeführt werden. Darüber hinaus wird die Motordrehzahl mittels des Motordrehzahlsignals 25 bestimmt. Die erfaßten Werte können erfindungsgemäß momentane Werte sein oder über ein vorbestimmtes Zeitintervall gemittelt werden.

Das Steuermodul 20 enthält Software, um in Schritt 69 den Ansaugluftmassenstrom gemäß Gleichung (2) zu berechnen. Die Variablen  $P_{chg}$ ,  $N$  und  $T_{chg}$  werden dem vorgelagerten Schritt 68 bestimmt. Der Wert  $R_{chg}$  ist die Gaskonstante der Ansaugluftmischung oder die allgemeine Gaskonstante 8314,34 J/(kmol·K). Der Wert  $V_d$  ist der Hubraum des Motors, der ein bekannter Wert des Motors ist. Dieser Wert kann in dem Speicher des Steuermoduls 20 fest eingespeichert sein.

Der Endwert  $\eta_{vol}$  ist der volumetrische Wirkungsgrad des Motors. Typischerweise ist der volumetrische Wirkungsgrad eine Funktion der Motordrehzahl, des Krümmerdruckverhältnisses und der Wärmeübertragung der Ansaugluft zwischen dem Ansaugkrümmer und den Zylindern. Bei den meisten Motoren kann der volumetrische Wirkungsgrad  $\eta_{vol}$  empirisch modelliert werden. Die empirische Gleichung für den speziellen Motor kann in dem Steuermodul-Speicher fest eingespeichert sein. Eine derartige Gleichung kann folgende Form haben:

$$(3) \quad \eta_{vol} = \left[ 1 + \frac{\left( 1 - \frac{P_{Exh}}{P_{chg}} \right)}{\gamma_{Chg} (r_c - 1)} \right] \left[ \frac{T_{Chg}}{T_{Chg} + dt} \right] \left[ n_1 + n_2 \omega_e + n_3 \omega_e^2 + n_4 \omega_e^3 \right] - a P_{Chg}^b$$

Die Gleichung (3) wurde auf der Basis vorheriger Arbeiten aufgestellt, wobei auch andere Formeln für den volumetrischen Wirkungsgrad verwendet werden können. In dieser Gleichung umfassen die Variablen den Ansaugluftdruck  $P_{chg}$ , den Abgasdruck  $P_{Exh}$ , die Ansauglufttemperatur  $T_{chg}$ , das spezifische Wärmeverhältnis  $\gamma_{Chg}$  der Ansaugluftmischung und die Motordrehzahl  $\omega_e$ . Die verbleibenden Werte sind technische oder motorspezifische Konstanten, nämlich das Motorkompressionsverhältnis  $r_c$ , der Ansaugluftwiedererwärmungsparameter  $dt$ , die Restgaskonstanten  $a$  und  $b$  sowie die polynominalen Motordrehzahlkonstanten  $n_1$ ,  $n_2$ ,  $n_3$  und  $n_4$ .

Der berechnete Ansaugluftmassenstrom wird in dem Speicher des Steuermoduls 20 in Schritt 69 gespeichert. Im nächsten Schritt 70 wird das Signal 51 aus dem MAF-Sensor 50 ausgelesen und von dem Steuermodul 20 angepaßt. Es versteht sich, daß alle Sensoren einschließlich des MAF-Sensors in Schritt 68 gemeinsam ausgelesen werden können. Die Software in dem Steuermodul ermittelt in Schritt 71 aus dem MAF-Sensorsignal einen Wert für den Massenstrom. Vorzugsweise enthält entweder der MAF-Sensor 50 oder das Steuermodul 20 einen Schaltkreis, um ein digitales Signal zu erzeugen, das von dem Steuermodul verwendet werden kann. In Schritt 71 der vorliegenden Routine können bekannte elektronische oder softwarebasierte Verfahren verwendet werden, um einen Wert des Massenstroms aus dem von dem MAF-Sensor 50 erzeugten Signal 51 zu ermitteln.

Im nächsten Schritt 72 wird der erfaßte Massenstrom und der berechnete oder ideale Ansaugluftmassenstrom verglichen, um einen Fehlerwert zu ermitteln. Dieser Fehlerwert kann der absoluten Differenz zwischen den beiden Werten des Massenstroms entsprechen. Normalerweise ist das Vorzeichen der Differenz zwischen den erfaßten und berechneten

Werten des Massenstroms ohne Bedeutung. Aber in einigen Fällen kann das Vorzeichen dieser Differenz für einen speziellen Fehler oder eine Fehlfunktion stehen. Beispielsweise kann der erfaßte Luftmasswert, der größer als der berechnete Wert ist, ein von der Bauart des Sensors 50 abhängiges, spezielles Problem anzeigen. In den meisten Fällen liefert das Vorzeichen der Differenz für einen einzelnen Datenpunkt nicht ausreichend Information, um die Art des Problems zu identifizieren. Normalerweise müßte das Vorzeichen einer Gruppe von Punkten, die eine MAF-Ausgangskurve bilden, berücksichtigt werden.

Im nächsten Schritt 73 wird der Fehlerwert mit einem vorbestimmten Grenzwert verglichen. Wenn der Fehlerwert kleiner als der Grenzwert ist, wird festgestellt, daß die Rekalibrierung des MAF-Sensors nicht notwendig ist, und die Steuerung geht bei 74 zu dem Endschrift 80 über. Der Grenzwert kann ein vorbestimmter Wert sein, der in dem Speicher des Steuermoduls 20 gespeichert ist. Alternativ kann der Grenzwert aus einer Nachschlagetabelle während der Bewertung des Rekalibriervorganges ermittelt werden, die beispielsweise auf der Motordrehzahl N oder anderen Parametern basiert.

Wenn der in Schritt 72 berechnete Fehlerwert außerhalb des Grenzwerts liegt, führt der Konditionalschritt 73 die Programmsteuerung zu Schritt 75. In diesem Schritt wird ein Fehlerkorrekturfaktor ermittelt, der auf das Signal 51, das von dem MAF-Sensor 50 erzeugt wurde, angewendet wird. Der Fehlerkorrekturfaktor kann auf verschiedenen Wegen erzeugt werden. Bei einem Ansatz kann der Fehlerkorrekturfaktor einfach die tatsächliche Differenz zwischen den erfaßten und berechneten Werten des Massenstroms sein. Vorzugsweise berücksichtigt der Fehlerkorrekturfaktor nicht die gesamte Differenz zwischen den erfaßten und berechneten Werten, da in den anderen erfaßten Parametern kleinere Fehler vorliegen können. Bei einem anderen Ansatz können die Fehlerkorrekturfaktoren mittels einer Nachschlagetabelle als Funktion des tatsächlichen, in Schritt 72 erhaltenen Fehlerwerts ermittelt werden.

Sobald der Fehlerkorrekturfaktor ermittelt wurde, wird der Fehlerkorrekturfaktor in Schritt 76 auf das Signal 51 des MAF-Sensors 50 angewandt. Bei einer Ausführungsform wird der Korrekturfaktor als Variable in dem Algorithmus verwendet, der in dem Steuermodul 20 zur Ermittlung des Massenstroms enthalten ist. Bei diesem Ansatz kann ein variabler Wert als multiplikativer oder additiver Korrekturfaktor zugeordnet werden. Dieser Korrekturfaktor kann in dem Speicher des Steuermoduls gespeichert und aufgerufen werden, wenn der Algorithmus zur Ermittlung des Massenstroms ausgeführt wird. In diesem Fall umfaßt der Schritt 76 ein Speichern des in Schritt 75 erzeugten Korrekturfaktors an einer geeigneten Speicherstelle des Steuermoduls. Andere alternative Verfahren zum Anwenden eines Korrekturfaktors sind eingeschlossen. Beispielsweise kann der Korrekturfaktor durch unmittelbares Modifizieren des eingehenden Signals 51 angewendet werden, wobei das modifizierte Signal mittels des Algorithmus zur Ermittlung des Massenstroms weiterverarbeitet wird.

Die vorliegende Erfindung umfaßt die On-Line-Kalibrierung beliebiger MAF-Sensoren. Bei der bevorzugten Ausführungsform ist der MAF-Sensor beispielsweise ein Hitzdrahtanemometersensor. Erfindungsgemäß wird der Rekalibrierprozeß mittels Softwarebefehlen implementiert, die basierend auf Daten, die in dem Speicher des Steuermoduls gespeichert sind, von dem Steuermodul 20 ausgeführt werden. Folglich muß der MAF-Sensor 50 in der Lage sein, ein Signal zu erzeugen, das von dem Steuermodul 20 gelesen und in den Motorsteuerungen desselben verwendet werden kann. Die Rekalibrierkorrektur kann an unterschiedlichen Stellen in den Steuermodul-Routinen angewendet werden. Beispielsweise kann die Korrektur auf das Signal 51 angewendet werden, so wie es ursprünglich von dem Steuermodul empfangen wurde. Alternativ kann die Korrektur innerhalb der Routine, die den Wert des Massenstroms aus dem MAF-Sensorsignal 51 herleitet, angewendet werden. Zusätzlich kann die Fehlerkorrektur in den Motorsteuerungen angewendet werden, die den erfaßten Wert des Massenstroms verwenden.

Eine weitere Ausführungsform kann den Fig. 3-4 entnommen werden. Gemäß dieser Ausführungsform enthält das Steuermodul 20 verschiedene Prozessoren, um eine Vielzahl von Berechnungen in Relation zur Motorleistung durchzuführen. Die Prozessoren können softwarebasiert sein oder als integrierte Schaltkreise vorliegen, die ein Ausgangssignal erzeugen, das einen relevanten Wert angibt. Eine derartige Anordnung kann Prozessoren umfassen, um den volumetrischen Wirkungsgrad  $\eta_{vol}$  und den Anteil der rückgeführten Abgase (basierend auf dem Verhältnis der Ansaug- und Abgasdrücke) zu berechnen, die von anderen, von dem Steuermodul 20 ausgeführten Routinen verwendet werden können, um den Motorbetrieb zu steuern. Ein weiterer Prozessor kann einen berechneten oder idealen Massenstrom der gesamten, den Motorzylindern zugeführten Ansaugluft  $m_{chg}$  erzeugen, die die rückgeführten Abgase und die Eingangsluft umfaßt.

Bei der in Fig. 4 gezeigten Ausführungsform enthält das Steuermodul 20 eine Nachschlagetabelle oder einen Gleitpunktprozessor, der das Ausgangssignal von dem MAF-Sensor 50 empfängt. Bei dieser Ausführungsform ist das Signal eine Gleichspannung. Dieser Prozessor empfängt das Spannungssignal von dem Sensor und gibt einen Wert für den Massenstrom in Relation zu dieser Spannung aus. Bei einer speziellen Ausführungsform implementiert der Nachschlagetabellenprozessor die Kurve der Sensorspannung über dem Massenstrom, wie in Fig. 3 abgebildet. Die Kurvendarstellung in Fig. 3 enthält eine Basislinie oder Standardkurve, die auf Testdaten eines neuen MAF-Sensors basiert, wenn dieser von dem Hersteller geliefert wird. Bei einer speziellen Ausführungsform erzeugt der MAF-Sensor eine Ausgangsspannung von 0,0-4,0 Volt Gleichspannung über den gesamten Bereich des Luftstroms des Motors. Bei seiner anfänglichen Kalibrierung kann der Sensor Luftmassenströme bis zu 80 lbm/min. erfassen. Es versteht sich, daß die Kurvendarstellung der MAF-Sensorbasislinie von Fig. 3 für einen Sensortyp für einen spezifischen Bereich des Massenstroms repräsentativ ist. Andere MAF-Sensoren weisen andere Spannungen und Massenstrombereiche sowie unterschiedliche Verhältnisse zwischen diesen beiden Werten auf.

Die Kurvendarstellung von Fig. 3 zeigt eine zweite Kurve, die der Ausgabe eines MAF-Sensors entspricht, der von Einbaufehlern betroffen ist oder sich im Verlauf der Zeit verschlechtert hat. Bei diesem Beispiel ist die Ausgangsspannung größer als die Basislinienspannung für einen speziellen Massenstrom. Beispielsweise entspricht ein Massenstrom von 40 lbm/min. einer Basislinie der MAF-Sensorausgabe von 2,95 Volt. Wenn sich die Sensorleistung verschlechtert, entspricht derselbe Massenstrom einer aus dem MAF-Sensor ausgelesenen Spannung von 2,81 Volt.

Der Nachschlagetabellenprozessor dieser Ausführungsform implementiert die in Fig. 3 gezeigte Kurve elektronisch. Der Prozessor liest die MAF-Sensorausgabespannung aus und ermittelt einen entsprechenden Wert des Massenstroms

$\dot{m}_{\text{air}}$  der Eingangsluft. Der zuvor berechnete Ansaugluftmassenstrom  $\dot{m}_{\text{chg}}$  und der erfaßte Luftmassenstrom  $\dot{m}_{\text{air}}$  können weiteren Prozessoren zur Verfügung gestellt werden, die die zwei Werte subtrahieren, um einen Wert, Abgasrückführstrom, zu erhalten. Der Wert, Abgasrückführstrom, kann durch den Ansaugluftmassenstrom dividiert werden, um das Abgasrückführverhältnis zu berechnen, das in Gleichung (1) wiedergegeben ist. Der Wert, Abgasrückführstrom, und das Abgasrückführverhältnis können anderen Motorsteueralgorithmen zugeführt werden, die von dem Steuermodul 20 ausgeführt werden. Andere Motorsteuerroutinen verwenden nur den Wert des Massenstroms.

Fehler in der MAF-Sensorausgabe können zu Fehlern bei den verschiedenen Werten führen, die Routinen für kritische Motorbetriebszustände zugeführt werden. Der Nachschlagetabellenprozessor wird erfindungsgemäß modifiziert oder korrigiert, indem ein adaptives Verfahren verwendet wird, bei dem sich die Nachschlagetabelle "entwickelt", wenn sich die MAF-Sensorausgabe verändert. Bei dieser Ausführungsform wird die Rekalibrierung der MAF-Sensorausgabe durch diese adaptive Nachschlagetabelle erreicht, so daß der Wert  $\dot{m}_{\text{chg}}$  in einem akzeptablen Toleranzbereich gehalten wird.

Das Steuermodul 20 oder ein vergleichbarer Prozessor kann so programmiert werden, daß eine Folge von Befehlen, die in dem Flußdiagramm von Fig. 4 gezeigt sind, ausgeführt werden. Vorzugsweise werden die MAF-Sensorrekalibriermerkmale als Hintergrundroutinen zu den Hauptroutinen 90 zur Motorsteuerung ausgeführt. Die Motorsteuerroutinen lesen in Schritt 92 die verschiedenen Motorzustandssensoren aus und berechnen in Schritt 94 für mit einem Abgasrückführsystem ausgestattete Motoren die Werte für den Abgasrückführanteil und den volumetrischen Wirkungsgrad. Die Steuermodul-Routinen berechnen in Schritt 96 einen Wert für den idealen Ansaugluftmassenstrom  $\dot{m}_{\text{chg}}$ . In den darauffolgenden Schritten 97-98 wird die MAF-Sensorausgabe gelesen und durch die adaptive Nachschlagetabelle verarbeitet, um einen Wert für den Ansaugluftmassenstrom  $\dot{m}_{\text{chg}}$  zu ermitteln. Die Werte für den Massenstrom werden in Schritt 99 kombiniert, um den Wert des Abgasrückführstroms zu erzeugen, der von anderen Motorsteuerroutinen verwendet wird.

Die Schritte 92-99 werden während des Betriebs des Motors kontinuierlich wiederholt. Gemäß der bevorzugten Ausführungsform wird, wenn diese Schritte ausgeführt werden, in dem Konditionalschritt 100 der Motorbetriebszustand bewertet, um zu festzustellen, ob dieser in einem stationären Zustand arbeitet. Ist dies nicht der Fall, geht die Steuerung in der Schleife 101 zurück zu den anfänglichen Schritten der Motorsteuerroutinen 90. Der stationäre Betriebszustand des Motors kann auf verschiedene Arten festgestellt werden. Beispielsweise kann ein stationärer Zustand angenommen werden, wenn der Abgasdruck und die Abgastemperatur sowie die Motordrehzahl über eine vorbestimmte Zeitdauer nahezu konstant geblieben sind. Alternativ kann der Konditionalschritt 100 durch ein externes Signal erfüllt werden, das eine Anfrage enthält, den MAF-Sensorrekalibrierprozeß zu starten.

Wenn der Konditionalschritt 100 erfüllt wurde, wird die MAF-Rekalibriersubroutine 102 begonnen. Diese Subroutine kann ebenfalls als Hintergrundroutine für die anderen kritischeren Motorsteuerroutinen, die von dem Steuermodul 20 implementiert werden, ausgeführt werden. Die anfänglichen Schritte 104-110 entsprechen im wesentlichen den vergleichbaren Schritten des Flußdiagramms in Fig. 2. Mit anderen Worten, die Rekalibriersubroutine schließt das Abgasrückführventil, wartet auf einen stationären Betriebszustand des Motors und liest die verschiedenen Motorzustandssensoren einschließlich des MAF-Sensors 50 aus. Der ideale MAF-Wert wird in Schritt 110 berechnet. In dem folgenden Schritt 112 wird die Ausgabe des MAF-Sensors mittels des Nachschlagetabellenprozessors verarbeitet, um einen erfaßten MAF-Wert zu ermitteln. Wie oben erklärt, entsprechen die Werte des idealen berechneten und des erfaßten Massenstroms der gleichen Fluidmasse, nämlich der Eingangsluft, da die Abgase nicht zu dem Einlaß rückgeführt werden. Bis eine Rekalibrierung des MAF-Sensors vorgenommen wird, enthält die adaptive Nachschlagetabelle Daten, die der Basislinie oder Standardkurve entsprechen, die in der Kurvendarstellung von Fig. 3 gezeigt ist. Wenn der Einbau des MAF-Sensors optimal erfolgt ist oder der Sensor sich hinsichtlich seiner Leistung niemals verschlechtert, wird diese Standardkurve immer verwendet, um den erfaßten MAF-Wert zu ermitteln.

Wie die meisten elektromechanischen und thermischen Komponenten, verschlechtert sich die Leistung des MAF-Sensors 50 jedoch im Verlauf der Zeit. Das Ausmaß dieser Verschlechterung wird in Schritt 114 bestimmt, in dem die Werte des idealen und des erfaßten Massenstroms verglichen werden. Dieser Vergleich erzeugt einen MAF-Fehlerwert, der, wie oben diskutiert, in den folgenden Schritten der Rekalibriersubroutine 102 verwendet wird. Gemäß der vorliegenden Ausführungsform werden zwei vorbestimmte Grenzwerte für den MAF-Fehlerwert verwendet. In dem Konditionalschritt 116 wird der MAF-Fehlerwert mit einem niedrigeren Grenzwert verglichen. Dieser niedrigere Grenzwert gibt ein Fehlertoleranzband an, in dem keine Rekalibrierung erforderlich ist. Dieser niedrigere Grenzwert kann in dem Steuermodul-Speicher gespeichert sein, um in Schritt 116 als Referenzwert zu dienen. Wenn der MAF-Fehler diesen minimalen Grenzwert nicht überschreitet, wird bei Schritt 117 die Steuerung zu den Motorsteuerroutinen 90 zurückgeführt.

Andererseits wird, wenn der minimale Grenzwert überschritten wird, ein zweiter Test 118 durchgeführt, um zu festzustellen, ob der MAF-Sensor 50 möglicherweise defekt ist. In dem Konditionalschritt 118 wird daher der MAF-Fehlerwert mit einem vorbestimmten oberen Grenzwert verglichen. Dieser obere Grenzwert kann auf einen Wert festgelegt werden, der einen Gesamtfehler des MAF-Sensors angibt, bei dem eine Rekalibrierung zwecklos wäre. Wenn der MAF-Fehlerwert diesen oberen Grenzwert überschreitet, wird in Schritt 120 eine Warnung angezeigt. Diese Warnung kann viele Formen, beispielsweise eine visuelle Fehleranzeige, und unterschiedliche Bedeutungen haben. Beispielsweise kann bei einem Kfz.-Motor ein Versagen des MAF-Sensors ein Abschalten des Motors nicht erforderlich machen, da andere Kraftstoffsensoren und -steuereinheiten geeignet sind, den Betrieb des Motors zu regeln. Andererseits kann ein MAF-Sensorversagen bei einem Dieselmotor fehlerhafte Berechnungen in den Motorsteuerroutinen verursachen, die beispielsweise veränderte Emissionspegel zur Folge haben.

Wenn der MAF-Fehler den oberen Grenzwert nicht überschreitet, kann der Motorbetrieb nach der MAF-Sensorrekalibrierung fortgesetzt werden. In Schritt 122 wird die adaptive Nachschlagetabelle daher modifiziert, um die Verschlechterung der MAF-Sensorausgabe zu berücksichtigen. Die Modifikation der Nachschlagetabelle kann auf verschiedenen Wegen erreicht werden, vorausgesetzt, daß die Rekalibrierung zu einem erfaßten MAF-Wert führt, der den idealen/berechneten MAF-Wert besser annähert. Bei der bevorzugten Ausführungsform werden die Einträge der adaptiven Nachschlagetabelle nicht modifiziert, um den gesamten MAF-Fehler zu berücksichtigen. Beispielsweise kann die Modifikation ein vorbestimmter Betrag oder ein vorbestimmter Prozentsatz des tatsächlichen MAF-Fehlers sein. Bei den meisten



bevorzugten Ausführungsformen wird eine konstante Modifikationsgröße auf die Einträge der Nachschlagetabelle angewendet. Beispielsweise beträgt der MAF-Fehler 4,0 lbm/min., wenn eine MAF-Sensorausgabe von 3,3 Volt einem MAF-Strom von 40 lbm/min. entspricht, während der ideale oder berechnete Strom 44 lbm/min. beträgt. Dieser Fehler gibt an, daß eine MAF-Sensorausgabe von 3,3 Volt einem MAF-Strom von 44 lbm/min. entsprechen sollte, was bedeutet, daß der Nachschlagetabloneintrag für diese MAF-Sensorspannung den größeren Wert haben sollte.

Bei der bevorzugten Ausführungsform wird lediglich eine konstante Änderungsgröße auf die Tabelle angewendet, anstatt den 2,9 Volt-Eintrag in der Nachschlagetabelle durch den korrekten oder idealen MAF-Wert zu ersetzen. Bei einer speziellen Ausführungsform beträgt diese konstante Modifikation 0,2 lbm/min. Somit wird in dem nächsten Zyklus der Motorsteuerberechnungen ein Ablesewert von 2,95 Volt des MAF-Sensors einem MAF-Wert von 40,2 lbm/min. entsprechen. Wenn im nächsten Zyklus ein weiterer MAF-Fehler festgestellt wird, wird der 2,95 Volt-Eintrag in der Nachschlagetabelle um den konstanten Betrag von 0,2 lbm/min. erneut erhöht. Dieser konstante Rekalibrierwert gewährleistet, daß die MAF-Werte nicht um den wahren Wert oszillieren. Nach mehreren Kalibrierzyklen erreichen die Einträge in der adaptiven Tabelle die idealen MAF-Werte. Selbstverständlich kann der konstante Rekalibrierwert für die adaptive Tabelle in Abhängigkeit von dem gewünschten Rekalibrierprotokoll auf eine Vielzahl von Werten eingestellt werden.

Da die adaptive Nachschlagetabelle MAF-Werte für einen Sensorspannungsbereich von 0,0–4,0 Volt enthält, ist es möglich, daß alle MAF-Werte eine Rekalibrierung erfordern. Bei der bevorzugten Ausführungsform wird lediglich eine einzelne MAF-Sensorausgabe analysiert, um zu festzustellen, ob sich der MAF-Sensor verschlechtert hat. Diese einzelne MAF-Sensorausgabe stellt einen einzelnen Punkt auf den in Fig. 3 gezeigten Kurven des Massenstroms dar. Bei der speziellen Ausführungsform wird lediglich dieser einzelne Datenpunkt modifiziert oder korrigiert, da die Kurve des Massenstroms nicht linear ist und sich im Laufe der Zeit nicht linear ändern kann. Alternativ können die Einträge der MAF-Werte für andere Sensorspannungen extrapoliert werden, um das gleiche nicht-lineare Verhältnis zwischen der Spannung und dem MAF-Wert aufrechtzuerhalten. Bei einer speziellen Ausführungsform kann der konstante Rekalibrierbetrag für die MAF-Werte entlang der Kurve variieren. Der Vektor der Rekalibrierbeträge kann unter Verwendung von Ansätzen zur Kurvenanpassung oder basierend auf empirischen Daten für eine Sensorverschlechterung ermittelt werden.

Nachdem in Schritt 122 die adaptive Nachschlagetabelle modifiziert wurde, wird die Steuerung bei Schritt 123 zu den Motorsteuerroutinen 90 zurückgeführt. An dieser Stelle kann gemäß der vorliegenden Motorsteueralgorithmen das Abgasrückführventil 40 geöffnet werden. Die neuen Werte in der Nachschlagetabelle werden bei allen nachfolgenden Motorsteuerberechnungen verwendet, bis eine neue Rekalibrierung erforderlich wird. Bei der dargestellten Ausführungsform wird die MAF-Rekalibrier subroutine automatisch ausgeführt, wenn ein stationärer Betriebszustand des Motors erkannt wird. Diese Subroutine wird sehr schnell ausgeführt, so daß die adaptive Nachschlagetabelle ohne Einfluß auf den Programmablauf der Motorsteuerroutinen, die auf den MAF-Werten beruhen, modifiziert werden kann. Außerdem kann das Abgasrückführventil ohne negativen Einfluß auf den Motorbetrieb geschlossen werden.

Bei einer anderen Ausführungsform der Erfindung wird ein statistischer Analyseansatz verwendet. Wie in dem Flußdiagramm von Fig. 5 dargestellt, beginnt der Prozeß dieser Ausführungsform, nachdem die von dem MAF-Sensor erzeugte Spannung erhalten wurde. Somit können auch die Schritte 60–70 der in Fig. 2 gezeigten Ausführungsform in der bei dieser Ausführungsform implementierten Prozessor- oder Steuermodul-Routine verwendet werden. Zusätzlich verwendet diese letztere Ausführungsform eine Modifikation des Ansatzes für die adaptive Nachschlage- oder Gleitpunkt-tabelle der zweiten, in Fig. 4 gezeigten Ausführungsform. Bei der Ausführungsform von Fig. 5 stützt sich die Nachschlagetabelle auf eine nicht-lineare Gleichung, um die MAF-Wert-/MAF-Spannungskurve, die in Fig. 3 abgebildet ist, anzunähern. Diese Gleichung hat folgende Form:

$$\dot{m}_{\text{air}} = a(V_{\text{MAF}} + b)^c \quad (4)$$

Die Werte a, b und c sind Konstanten, die durch ein Regressionsverfahren ermittelt werden. Für einen neuen Motor können die Kalibrationskonstanten durch eine Regressionsanalyse einer repräsentativen Gruppe neuer Sensoren ermittelt werden. Solange sich der MAF-Sensor 50 niemals verschlechtert, bleiben diese ursprünglichen Kalibrationskonstanten während der gesamten Lebensdauer des Motors unverändert. Die vorliegende Ausführungsform der Erfindung modifiziert diese Konstanten jedoch, um, wie in der Kurvendarstellung von Fig. 3 abgebildet, Änderungen der Sensorausgangsspannung zu berücksichtigen.

Bei dem Ansatz der vorliegenden Ausführungsform wird der Ansaugluftmassenstrom  $\dot{m}_{\text{chg}}$  aus verfügbaren Sensorinformationen berechnet, die oben in Verbindung mit vorherigen Ausführungsformen beschrieben wurden. Bei dieser Ausführungsform wird, nachdem die MAF-Sensorspannung in Schritt 70 ausgelesen wurde, in Schritt 125 der Frischluftmassenstrom  $\dot{m}_{\text{air}}$  aus der Gleichung (4) ermittelt, wobei die aktuellen MAF-Sensorkalibrierkonstanten verwendet werden. Im Schritt 127 wird ein normierter Absolutwertvergleich der zwei Strömungswerte  $\dot{m}_{\text{chg}}$  und  $\dot{m}_{\text{air}}$  durchgeführt. Wenn der normierte Vergleichswert nicht größer als ein vorbestimmter Fehlergrenzwert ist, wird die Rekalibrierung nicht durchgeführt und das System geht zu Schritt 150 über, wo die Motoremissionssteuerungsstrategie wieder aufgenommen und der Abgasrückführventilbetrieb nicht beeinflusst wird. Nach Schritt 150 weist das Steuermodul die Steuerung an, bei Schritt 152 zu anderen Motorsteuerroutinen zurückzukehren. Bei dieser Ausführungsform arbeitet die Sensorrekalibrier routine kontinuierlich als Teil der gesamten Motorsteuerung, die von dem Steuermodul ausgeführt wird.

Wenn der normierte Vergleichswert den festgesetzten Fehlergrenzwert überschreitet, wird in Schritt 129 das aktuelle Paar der MAF-Spannung und des berechneten Massenstroms  $[V_{\text{MAF-Sensor}}, \dot{m}_{\text{chg}}]$  einem Rekalibrierpuffer in dem Speicher zugeführt. Dieser Puffer enthält Paare der Sensorspannung und des berechneten Massenstroms, die nach dem Abschluß des letzten Rekalibrierprozesses erfaßt wurden. Bei einer speziellen Ausführungsform kann der Rekalibrierpuffer so dimensioniert werden, zehn oder mehr Datenpaare zu speichern, die inhärent zehn oder mehr Fällen entsprechen, in denen der normierte Fehler des erfaßten, im Vergleich zum berechneten Massenstrom den Fehlergrenzwert überschreitet. Da die vorliegende Ausführungsform eine Regressionsanalyse dieser Datenpaare umfaßt, sollte eine Konzentration von Datenpunkten in großer Nähe zueinander vermieden werden. Dies wird in Schritt 129 erreicht, indem die neuen Datenpunkte gefiltert werden, um ein Datenpaar zu verwerfen, das zu nahe an den bereits in dem Puffer gespeicherten Paaren



liegt. Wenn das Datenpaar verworfen wird, geht die Steuerung zu den Rückschritten 150, 152 über.

Ist dem Rekalibrierpuffer ein neues Datenpaar  $[V_{MAF-Sensor, m_{chg}}]$  hinzugefügt worden, wird ein Konditionalschritt 130 ausgeführt, indem die Breite der Daten bewertet wird, so daß eine ausreichende Abdeckung des Bereichs möglicher Massenströme gewährleistet wird, um eine gültige MAF-Sensorkalibrierung zu erzeugen. Mit anderen Worten, da eine Regressionsanalyse im wesentlichen ein Verfahren zum Anpassen einer Kurve ist, müssen die Daten geeignet sein, um eine Kurve zu erzeugen, die die vorliegenden Zustände exakt wiedergibt. Das Bewerten der Eignung der Daten in dem Rekalibrierpuffer umfaßt ein Berücksichtigen der Breite der Daten – d. h. der Maximal- und Minimalwerten  $m_{chg}$ . Der Konditionalschritt berücksichtigt ebenfalls die Frequenz von Datenpunkten zwischen den Maximal- und Minimalwerten, d. h. die Anzahl und der Abstand der Punkte. Das Breitekriterium kann umfassen: Einen Breitegrenzwert, der mit dem Unterschied zwischen den Maximal- und Minimalströmungswerten verglichen wird, einen Frequenzgrenzwert, der mit der Anzahl von Datenpaaren verglichen wird sowie einen Abstandsgrenzwert, der beispielsweise mit der Differenz zwischen Spannungswerten benachbarter Sensoren verglichen werden kann. Andere statistische Verfahren können angewendet werden, um der Abdeckung und Frequenz der in dem Rekalibrierpuffer enthaltenen Datenpaare hinsichtlich ihrer Verwendbarkeit zu bewerten.

Wenn diese Kriterien erfüllt sind, geht die Steuerung zu Schritt 132 über. Bei einer Alternative kann die Steuerung automatisch, unabhängig von den Breiten- und Frequenzvergleichen, zu diesem nächsten Schritt übergehen, wenn der Rekalibrierpuffer voll ist. Wenn diese Kriterien nicht erfüllt sind, geht die Steuerung zu den Rücksprungschritten 150, 152 über. Nachfolgende Abläufe der Rekalibrierungsschritte erzeugen zusätzliche Datenpaare, die die Daten "auffüllen" können, um diese Kriterien zu erfüllen.

Wenn das festgelegte Breitekriterium erfüllt ist, geht das System zum Schritt 132 über, wo der Regressionsprozeß mit dem aktuellen Rekalibrierdatensatz bezüglich des festgelegten MAF-Sensorstrom/Sensorspannungs-Verhältnisses ausgeführt wird. Bei dieser Regressionsanalyse werden für die Konstanten a, b und c der Gleichung (4) neue Werte ermittelt. Jedes nicht-lineare Regressionsverfahren kann verwendet werden, um Werte für diese Konstanten zu erzeugen. In einigen Fällen kann es vorteilhaft sein, einen Wichtungsfaktor auf bestimmte Datenpaare anzuwenden, um die relative Wichtung gleichmäßig über den gesamten Bereich der Daten anzupassen. Dieser Wichtungsfaktoransatz kann beispielsweise dann erforderlich sein, wenn das Frequenzkriterium nicht optimal ist.

Sobald die Regressionsanalyse ausgeführt und die Regressionskonstanten a, b und c berechnet wurden, wird in Schritt 134 die Qualität der neuen Regression bewertet. Verschiedene statistische Verfahren können angewendet werden, um diese Bestimmung auszuführen, beispielsweise indem der RMS-Fehlerwert oder  $r^2$ -Wert ermittelt wird, um zu beschreiben, wie gut die Datenpaare in dem Rekalibrierpuffer der modifizierten Gleichung (4) angepaßt wurden. In dem folgenden Konditionalschritt 135 werden die Qualitätsfaktoren mit vorbestimmten Standards verglichen, um zu bestimmen, ob die Regressionswerte akzeptabel sind oder ob zusätzliche Datenpaare ermittelt werden müssen. Beispielsweise kann ein vorbestimmter Standard im Bereich von 0,50 liegen, wenn ein perfekter RMS-Fehlerwert 0,00 beträgt. Für den  $r^2$ -Wert wäre ein perfekter Wert 1,000, während ein akzeptabler vorbestimmter Standard 0,800 sein könnte.

Wenn die Regressionsqualitätskriterien nicht erfüllt werden, geht die Steuerung zu Schritt 146 über, wo eine MAF-Sensordiagnosemarke gesetzt wird. Diese Marke gibt an, daß die in dem Regressionspuffer enthaltenen Datenpaare nicht für eine korrekte Regressionsanalyse geeignet sind und daher für eine Änderung der vorliegenden Massenstrom/MAF-Spannungs-Gleichung nicht akzeptabel sind. Ist es nicht möglich, eine Kurve zu erzeugen, die den Echtzeitdatenpaaren entspricht, kann dies auf ein Problem im Zusammenhang mit dem MAF-Sensor hinweisen. Die Diagnosemarke kann dazu verwendet werden, eine Warnungsanzeige so anzusteuern, daß eine Off-Line-Bewertung der Rekalibrierpufferdatenpaare oder des MAF-Sensors selbst getriggert wird. Alternativ kann die Diagnosemarke ein Zurücksetzen (Löschen) des Rekalibrierpuffers verursachen, um neue Datenpaare für zukünftige Analysen zu ermitteln. Bei diesem letzteren Ansatz geht die Steuerung zu den Rücksprungschritten 150, 152 über.

Wenn die Regressionsqualität akzeptabel ist, wird in Schritt 137 die neue Regression mit einer zuvor durchgeführten MAF-Sensorkalibrierung verglichen. Bei einem speziellen Ansatz entspricht die vorher durchgeführte Kalibrierung der anfänglichen Sensorkalibrierung, die durchgeführt wurde, als der Motor neu war. Bei diesem Vergleich wird vorausgesetzt, daß sich die Massenstrom/Spannungs-Kurve für jeden vorliegenden MAF-Sensor im Verlauf der Zeit nicht stark ändert. Alternativ kann die vorher durchgeführte Kalibrierung der nächste zuvor durchgeführte Kalibrierungszyklus sein. In diesem Fall wird die akzeptable Varianz zwischen den Kalibrierkonstanten kleiner als bei dem Vergleich mit der anfänglichen Sensorkalibrierung sein. Wie oben erklärt, umfaßt dieser Vergleich idealerweise einen Vergleich von berechneten MAF-Werten, der auf den aktuellen und zuvor durchgeführten Regressionskalibrierungen basiert. Alternativ kann dieser Vergleich ein unmittelbares Vergleichen der aktuellen Werte der Regressionskonstanten a, b und c mit den in der vorher durchgeführten Kalibrierung berechneten Werten umfassen.

Im Konditionalschritt 140 wird festgestellt, ob die Variation der neuen Regression ausgehend von der vorher durchgeführten oder der ursprünglichen MAF-Sensorkalibrierung einen vorbestimmten Betrag überschreitet, der eine Sensorverschlechterung angibt, die als korrektive Maßnahme eine Rekalibrierung erforderlich macht. In diesem Fall geht die Steuerung zu Schritt 146 über, wo die MAF-Sensordiagnosemarke gesetzt und wie oben diskutiert behandelt wird.

Andererseits, ist die Bedingung in Schritt 140 erfüllt, wenn die neue Regression innerhalb des festgelegten Grenzwerts liegt, wobei die Rekalibrierung eine geeignete Maßnahme ist, und die Steuerung geht zu Schritt 142 über. In diesem Schritt werden die neuen MAF-Sensorkonstanten a, b und c in einem nicht-flüchtigen Speicher gespeichert und zur unmittelbaren Verwendung in der Gleichung (4) durch Routinen weitergeleitet, die für eine Bestimmung des Luftmassenstroms dienen. Im nächsten Schritt 144 wird der Rekalibrierpuffer vorzugsweise in Vorbereitung für zukünftige Rekalibrierzyklen geleert. Alternativ kann der Rekalibrierpuffer als First-in-first-out-Puffer ausgeführt sein, so daß, sobald der Puffer voll ist, das älteste Datenpaar aus dem Puffer entfernt wird, wenn ein neues Datenpaar hinzugefügt wird. Bei diesem Ansatz hat die Regressionsanalyse kleinere inkrementale Modifikationen der Regressionskonstanten zur Folge. Die Steuerung geht nach dem Schritt 144 zu den Rücksprungschritten 150, 152 über, wo die Steuermodul-Routinen wie oben diskutiert fortgesetzt werden.

Obwohl die vorliegende Erfindung speziell am Beispiel eines Luftmassensensors und Berechnungen veranschaulicht

wurde, die eine Masse als Maß des Stroms verwenden, kann die Erfindung auch auf andere Luftmassensensoren angewandt werden, die eine periodische Rekalibrierung erfordern. Erfindungsgemäß wird diese Rekalibrierung in erster Linie in den elektronischen oder softwaregesteuerten Komponenten, die Ausgangssignale von dem Sensor empfangen, anstatt in dem Sensor selbst durchgeführt.

Außerdem ist die Software, die die Folge der in den Flußdiagrammen dargestellten Schritte ausführt, vorzugsweise in dem Steuermodul enthalten. Es ist jedoch auch möglich, jede funktionale Komponente oder jeden funktionalen Aspekt der Erfindung in diskreten Prozessoren anzuwenden, die in das Steuermodul oder in andere Mikroprozessoren oder Steuermodule integriert werden können. Beispielsweise können getrennte Prozessoren zum Erzeugen eines erfaßten Luftmassenstromwertes aus der Ausgabe des Luftmassenstromsensors, zum Berechnen eines idealen Luftmassenstromwertes, zum Vergleichen der erfaßten und idealen Luftmassenstromwerte und zum Modifizieren des MAF-Sensorspannung/Luftmassenstromwert-Verhältnisses angesprochen werden. In dieser Hinsicht ist es verständlich, daß ein Prozessor eine Folge von Softwarebefehlen oder ein von dem Steuermodul getrenntes Modul enthalten kann. Der Prozessor kann auch ein elektronischer Prozessor sein, wie z. B. ein integrierter Schaltkreis, der von anderen Prozessoren genutzte Signale erzeugt.

Bei den dargestellten Ausführungsformen wurde vorausgesetzt, daß der Motor ein Abgasrückführsystem enthält. Die Rekalibriersysteme und -verfahren der vorliegenden Erfindung können jedoch auch bei Motoren verwendet werden, die keine Abgasrückführung verwenden. Die Darstellung in Fig. 1 ist als schematische Wiedergabe von Motorkomponenten gedacht. Somit versteht es sich, daß vorliegende Erfindung auch bei Motoren mit mehreren Zylindern verwendet werden kann, obwohl in dieser Figur ein Motor mit nur einem Zylinder gezeigt ist. Des weiteren kann der MAF-Sensor am Einlaß eines Ansaugkrümmers angebracht werden, der einer Anzahl von Zylindern Luft zuführt. In diesem Fall können die Druck- und Temperatursensoren an Stellen in dem Ansaugkrümmer oberhalb der Verzweigung zu den einzelnen Zylindern angeordnet sein.

#### Patentansprüche

1. System zur Kalibrierung eines Luftmassensensors (50) in einem Motor (10) mit einer Abgasrückführeinrichtung und einem Abgasrückführventil (40), mit:

- einem Luftmassensensor (50), der an einem Lufteinlaß (13) des Motors (10) stromaufwärts des Abgasrückführweges angeordnet ist und ein Luftmassensensorsignal (51) erzeugt,
- wenigstens einem Zustandssensor (30, 34), der an dem Einlaß stromabwärts des Abgasrückführweges angeordnet ist und wenigstens ein Zustandssignal (31, 35) erzeugt, das einen Motorzustand angibt,
- einem elektronischen Steuermodul (20), das Motorsteueralgorithmen zum Steuern des Motorbetriebs ausführt, wobei das Steuermodul (20) das Luftmassensensorsignal (51) und das wenigstens eine Zustandssignal (31, 35) empfängt und aufweist:
- einen Speicher, der gespeicherte Werte enthält, die die Größe des Luftmassensensorsignals (51) mit einem erfaßten Luftmassenstromwert in Relation setzen, der eine tatsächlich am Luftmassensensor (50) vorbeiströmende Luftmasse angibt, wobei der erfaßte Luftmassenstromwert den Motorsteueralgorithmen zugeführt wird,
- einen ersten Prozessor zum Berechnen eines idealen Luftmassenstromwertes aus dem wenigstens einen Zustandssignal (31, 35), der eine am Luftmassensensor vorbeiströmende, ideale Luftmasse angibt,
- einen Rekalibrierprozessor, der das Abgasrückführventil (40) schließt und, wenn das Abgasrückführventil (40) geschlossen ist, basierend auf dem zumindest einen Zustandssignal einen idealen Luftmassenstromwert von dem ersten Prozessor und basierend auf dem Luftmassensensorsignal einen erfaßten Luftmassenstromwert aus den gespeicherten Werten erhält,
- einen Vergleichsprozessor zum Vergleichen der Differenz zwischen dem erfaßten Luftmassenstromwert und dem idealen Luftmassenstromwert mit einem vorbestimmten Grenzwert, der angibt, ob der Luftmassensensor (50) zu rekalibrieren ist, und
- eine Einrichtung zum Modifizieren der in dem Speicher gespeicherten Werte, wenn die Differenz den vorbestimmten Grenzwert überschreitet.

2. System zur Kalibrierung eines Luftmassensensors (50) in einem Motor (10) mit einer Abgasrückführeinrichtung und einem Abgasrückführventil (40), das einen Gasstrom durch einen Rückführweg von dem Motorauslaß (14) zu dem Motoreinlaß (13) steuert, und ferner mit einem Motorsteuermodul (20), das in Antwort auf Signale (31, 35), die von einer Anzahl von Sensoren (30, 34) erzeugt werden, die an dem Motor (10) zum Erfassen von Motorbetriebszuständen einschließlich der Luftmasse an dem Zylindereinlaß angeordnet sind, Algorithmen zum Steuern des Motors ausführt, mit:

- einem Luftmassensensor (50), der an dem Motoreinlaß (13) stromaufwärts des Abgasrückführweges angeordnet ist und ein Luftmassensensorsignal (51) erzeugt,
- einem Luftmassenprozessor, der dem Steuermodul (20) zugeordnet ist, um einen erfaßten Luftmassenstromwert in Relation zu dem Luftmassensensorsignal (51) zu erzeugen, wobei der erfaßte Luftmassenstromwert den Motorsteueralgorithmen zugeführt wird,
- einem ersten Prozessor zum Bestimmen eines idealen Luftmassenstromwertes basierend auf Signalen (31, 35) von weiteren Sensoren (30, 34),
- einem Rekalibrierprozessor, der den Luftmassenprozessor modifiziert, um modifizierte erfaßte Luftmassenstromwerte zu erzeugen, wobei der Rekalibrierprozessor enthält:
- einen Signalgenerator zum Erzeugen eines Signals, um das Abgasrückführventil (40) zu schließen,
- einen Vergleichsprozessor, der, während das Abgasrückführventil (40) geschlossen ist, den erfaßten Luftmassenstromwert mit dem idealen Luftmassenstromwert vergleicht und eine Ausgabe erzeugt, die diesen Vergleich angibt, und

- eine Einrichtung zum Modifizieren des Luftmassenprozessors in Antwort auf die Ausgabe des Vergleichsprozessors, so daß der Luftmassenprozessor nachfolgend modifizierte Luftmassenstromwerte erzeugt, die den Motorsteueralgorithmen zugeführt werden.
- 3. System zur Kalibrierung eines Luftmassensensors (50) in einem Motor (10) mit einer Abgasrückföhreinrichtung und einem Abgasrückföhventil (40), das einen Gasstrom durch einen Rückföhweg von dem Motorauslaß (14) zu dem Motoreinlaß (13) steuert, und ferner mit einem Motorsteuermodul (20), das in Antwort auf Signale (31, 35), die von einer Anzahl von Zustandssensoren (30, 34) erzeugt werden, die zum Erfassen von Motorbetriebszuständen an dem Motor (10) angeordnet sind, Steueralgorithmen zum Steuern des Motorbetriebs ausföhrt, mit:
  - einem Luftmassenprozessor, der Software enthält, um einen erfaßten Luftmassenstromwert in Relation zu der Größe eines Signals (51) von dem Luftmassensensor (50) zu erzeugen, wobei der erfaßte Luftmassenstromwert den Steueralgorithmen zugeführt wird, und der Luftmassenprozessor gespeicherte Werte enthält, die die Größe des Signals (51) mit dem erfaßten Luftmassenstromwert in Relation setzen,
  - einem ersten Prozessor, der einen idealen Luftmassenstromwert basierend auf Signalen (31, 35) von weiteren Zustandssensoren (30, 34) erzeugt,
  - einem Signalgenerator, der ein Signal zum Schließen des Abgasrückföhventils (40) erzeugt,
  - einem Vergleichsprozessor, der, wenn das Abgasrückföhventil (40) geschlossen ist, den erfaßten Luftmassenstromwert mit dem idealen Luftmassenstromwert vergleicht und in Antwort auf diesen Vergleich eine Ausgabe erzeugt, und
  - einem zweiten Prozessor, der die gespeicherten Werte in Antwort auf die Ausgabe von dem Vergleichsprozessor modifiziert, wobei der Luftmassenprozessor die modifizierten gespeicherten Werte nachfolgend verwendet, um aus dem Luftmassensensorsignal (51) den erfaßten Luftmassenstromwert zu erzeugen.
- 4. System zur Kalibrierung eines Luftmassensensors (50) in einem Motor (10) mit:
  - einem Luftmassensensor (50), der an dem Lufteinlaß (13) des Motors (10) angeordnet ist und ein Luftmassensensorsignal (51) erzeugt,
  - wenigstens einem Zustandssensor (30, 34), der an dem Einlaß (13) stromabwärts des Luftmassensensors (50) angeordnet ist und wenigstens ein Zustandssignal (31, 35) erzeugt, das einen Motorzustand angibt,
  - einem elektronischen Steuermodul (20), das zum Steuern des Motorbetriebs Motorsteueralgorithmen ausföhrt, wobei das Steuermodul (20) das Luftmassensensorsignal (51) und das wenigstens eine Zustandssignal (31, 35) empfängt und umfaßt:
    - einen Speicher, der gespeicherte Werte enthält, die die Größe des Luftmassensensorsignals (51) mit einem erfaßten Luftmassenstromwert in Relation setzen; der eine tatsächlich am Luftmassensensor (50) vorbeiströmende Luftmasse angibt, wobei der erfaßte Luftmassenstromwert den Motorsteueralgorithmen zugeführt wird,
    - einen ersten Prozessor zum Berechnen eines idealen Luftmassenstromwertes aus dem wenigstens einen Zustandssignal (31, 35), der eine am Luftmassensensor (50) vorbeiströmende, ideale Luftmasse angibt,
    - einen Rekalibrierprozessor, der basierend auf dem wenigstens einen Zustandssignal (31, 35) einen idealen Luftmassenstromwert von dem ersten Prozessor und basierend auf dem Luftmassensensorsignal (51) einen erfaßten Luftmassenstromwert aus den gespeicherten Werten erhält,
    - einen Vergleichsprozessor zum Vergleichen der Differenz zwischen dem erfaßten Luftmassenstromwert und dem idealen Luftmassenstromwert mit einem vorbestimmten Grenzwert, der angibt, ab der Luftmassensensor (50) zu rekalibrieren ist, und
    - eine Einrichtung zum Modifizieren der in dem Speicher gespeicherten Werte, wenn die Differenz den vorbestimmten Grenzwert überschreitet.
- 5. System nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei dem
  - die gespeicherten Werte eine Anzahl von Konstanten in einer Gleichung sind, die die Größe des Luftmassensensorsignals (51) mit dem erfaßten Luftmassenstromwert in Relation setzen, und
  - die Modifiziereinrichtung einen zweiten Prozessor umfaßt, der die Anzahl von Konstanten modifiziert.
- 6. System nach einem der Ansprüche 1 bis 5, bei dem
  - die Modifiziereinrichtung einen Rekalibrierpuffer in dem Speicher und eine Einrichtung zum Speichern zugeordneter Paare des idealen Luftmassenstromwertes und der Größe des Luftmassensensorsignals (51) umfaßt, und
  - der zweite Prozessor einen Regressionsanalyseprozessor umfaßt, der die zugeordneten Paare verarbeitet, um neue Werte für die Anzahl von Konstanten zu erzeugen.
- 7. System nach einem der Ansprüche 1 bis 6, bei dem
  - die gespeicherten Werte eine adaptive Nachschlagetabelle bilden, die eine Vielzahl zugeordneter Paare von Werten der Größe des Luftmassensensorsignals (51) und des erfaßten Luftmassenstromwertes enthält, und
  - die Modifiziereinrichtung einen dritten Prozessor zum Anwenden eines Korrekturfaktors auf wenigstens einen der Werte des einen oder der mehreren zugeordneten Paare umfaßt.
- 8. System gemäß einem der Ansprüche 1 bis 7, bei dem der Korrekturfaktor ein konstanter Wert ist, der auf den erfaßten Luftmassenstromwert in wenigstens einem der zugeordneten Paare angewendet wird.
- 9. Verfahren zum Rekalibrieren von Werten, die von einem Luftmassensensor (50) erzeugt werden, der an einem Lufteinlaß (13) eines Motors (10) angeordnet ist, wobei der Motor (10) ein Abgasrückföhsystem mit einem Rückföhweg zwischen dem Motorauslaß (14) und dem Lufteinlaß (13) stromabwärts Luftmassensensors (50) und ein in dem Rückföhweg angeordnetes Abgasrückföhventil (40) sowie ferner ein Motorsteuermodul (20) aufweist, das basierend auf Signalen (31, 35) von Sensoren (30, 34) und Luftmassenstromwerten von dem Luftmassensensor (50) Algorithmen zum Steuern des Motorbetriebs ausföhrt, mit den Schritten:
  - Schließen des Abgasrückföhventils (40),
  - Ermitteln eines erfaßten Luftmassenstromwertes gemäß einem vorbestimmten Verhältnis zu den Signalen

- (51) von dem Luftmassensensor (50), wenn das Abgasrückführventil (40) geschlossen ist,  
 – Erzeugen eines idealen Luftmassenstromwerts aus den Signalen (31, 35), die von weiteren Sensoren (30, 34) erzeugt werden, wenn das Abgasrückführventil geschlossen ist,  
 – Vergleichen des erfaßten Luftmassenstromwertes mit dem idealen Luftmassenstromwert und Erzeugen einer Ausgabe, die den Vergleich angibt, und  
 – Modifizieren des vorbestimmten Verhältnisses der erfaßten Luftmassenstromwerte zu den Luftmassensensorsignalen, basierend auf der Ausgabe von dem Vergleich, zur nachfolgenden Verwendung durch das Steuermodul (20).
10. Verfahren gemäß Anspruch 9, bei dem:  
 – das vorbestimmte Verhältnis in einer Gleichung enthalten ist, die die Luftmassensensorsignale (51) mit dem erfaßten Luftmassenstromwert in Relation setzt, wobei die Gleichung eine Anzahl von Konstanten enthält, die in einem Speicher gespeichert sind, und  
 – der Schritt des Modifizierens des vorbestimmten Verhältnisses ein Modifizieren der Anzahl von Konstanten enthält.
11. Verfahren gemäß Anspruch 9 oder 10, mit den Schritten:  
 – Bereitstellen eines Rekalibrierpuffers zum Speichern zugeordneter Datenpaare, die den idealen Luftmassenstromwert und die Größe des Luftmassensensorsignals (51) enthalten, und  
 – Speichern des idealen Luftmassenstromwerts und der Größe des Luftmassensensorsignals (51) in dem Rekalibrierpuffer, wenn das Abgasrückführventil geschlossen ist,  
 – wobei der Schritt des Modifizierens des vorbestimmten Verhältnisses umfaßt:  
 – Durchführen einer Regressionsanalyse der zugeordneten Datenpaare, um modifizierte der Anzahl von Konstanten zu berechnen, und  
 – Speichern der modifizierten Konstanten der Anzahl von Konstanten in dem Speicher für eine nachfolgende Berechnung eines erfaßten Luftmassenstromwertes, der den Motorsteueralgorithmen zugeführt wird.
12. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 9 bis 11, bei dem  
 – das vorbestimmte Verhältnis in einer Nachschlagetabelle enthalten ist, die in einem Speicher des Steuermoduls (20) gespeichert ist, wobei die Nachschlagetabelle die Größe von Signalen (51) des Luftmassensensors (50) mit einem erfaßten Luftmassenstromwert in Relation setzt, der die durch den Luftmassensensor (50) strömende Luftmasse angibt, und  
 – der Schritt des Ermitteln eines erfaßten Luftmassenstromwerts ein Bestimmen der Größe des Luftmassensensorsignals (51) und ein Auslesen des erfaßten Luftmassenstromwertes aus der Nachschlagetabelle basierend auf der Größe des Luftmassensensorsignals (51) umfaßt.
13. Verfahren gemäß Anspruch 12, bei dem der Schritt des Modifizierens des vorbestimmten Verhältnisses ein Modifizieren der erfaßten Luftmassenstromwerte in der Nachschlagetabelle in Relation zu dem Fehlerwert umfaßt.
14. Verfahren gemäß Anspruch 13, bei dem der Schritt des Modifizierens des vorbestimmten Verhältnisses ein Modifizieren der erfaßten Luftmassenstromwerte in der Nachschlagetabelle als Prozentsatz des Fehlerwerts umfaßt.
15. Verfahren gemäß Anspruch 13, bei dem der Schritt des Modifizierens des vorbestimmten Verhältnisses ein Modifizieren der erfaßten Luftmassenstromwerte in der Nachschlagetabelle mittels eines konstanten Wertes umfaßt, der kleiner als der Fehlerwert ist.
16. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 9 bis 15, bei dem der Schritt des Erzeugens des idealen Luftmassenstromwertes die Schritte umfaßt:  
 – Erhalten eines Einlaßtemperaturwerts (35) von einem Temperatursensor (34) am Motoreinlaß (13) stromabwärts des Abgasrückführweges,  
 – Erhalten eines Einlaßdruckwerts (31) von einem Drucksensor (30) am Motoreinlaß (13) stromabwärts des Abgasrückführweges, und  
 – Erzeugen des idealen Luftmassenstromwerts gemäß einem vorbestimmten Verhältnis basierend auf den Einlaßtemperatur- und Druckwerten.
17. Verfahren zum Rekalibrieren von Werten, die von einem Luftmassensensor (50) erzeugt werden, der an einem Lufteinlaß (13) eines Motors (10) angeordnet ist, wobei der Motor (10) ein Motorsteuermodul (20) aufweist, das basierend auf Signalen (31, 35) von weiteren Sensoren (30, 34) und Luftmassenstromwerten (51) des Luftmassensensors (50) Algorithmen zum Steuern des Motorbetriebs ausführt, die Schritte umfassend:  
 – Ermitteln eines erfaßten Luftmassenstromwerts gemäß einem vorbestimmten Verhältnis mit den Signalen (51) von dem Luftmassensensor (50),  
 – Erzeugen eines idealen Luftmassenstromwerts aus den Signalen (31, 35), die von weiteren Sensoren (30, 34) erzeugt werden,  
 – Vergleichen des erfaßten Luftmassenstromwerts mit dem idealen Luftmassenstromwert und Erzeugen einer Ausgabe, die den Vergleich angibt,  
 – Speichern einer Anzahl von Konstanten in einem Speicher, wobei die Konstanten einen Teil einer Gleichung bilden, die das vorbestimmte Verhältnis definiert, das die Luftmassensensorsignale (51) mit dem erfaßten Luftmassenstromwert in Relation setzt, und  
 – Modifizieren des vorbestimmten Verhältnisses der erfaßten Luftmassenstromwerte zu den Luftmassensensorsignalen (51), basierend auf der Ausgabe von dem Vergleich, zur nachfolgenden Verwendung durch das Steuermodul (20) durch Modifizieren der Anzahl von Konstanten.
18. Verfahren nach Anspruch 17, mit den Schritten:  
 – Bereitstellen eines Rekalibrierpuffers zum Speichern zugeordneter Datenpaare, die den idealen Luftmassenstromwert und die Größe des Luftmassensensorsignals (51) enthalten, und  
 – Speichern des idealen Luftmassenstromwerts und der Größe des Luftmassensensorsignals (51) in dem Rekalibrierpuffer,

- wobei der Schritt des Modifizierens des vorbestimmten Verhältnisses umfaßt:
  - Durchführen einer Regressionsanalyse der zugeordneten Datenpaare, um modifizierte der Anzahl von Konstanten zu berechnen, und
  - Speichern der modifizierten Konstanten der Anzahl von Konstanten in dem Speicher für eine nachfolgende Berechnung eines erfaßten Luftmassenstromwertes, der dem Motorsteueralgorithmus zugeführt wird. 5
19. Verfahren nach Anspruch 17 oder 18, bei dem der Schritt des Erzeugens eines idealen Luftmassenstromwertes die Schritte umfaßt:
- Erhalten eines Einlaßtemperaturwerts (35) von einem Temperatursensor (34) am Motoreinlaß (13) stromabwärts des Luftmassensensors (50),
  - Erhalten eines Einlaßdruckwerts (31) von einem Drucksensor (30) am Motoreinlaß (30) stromabwärts des Luftmassensensors (50), und 10
  - Erzeugen eines idealen Luftmassenstromwertes gemäß einem vorbestimmten Verhältnis basierend auf den Einlaßtemperatur- und Druckwerten.
20. Verfahren nach einem der Ansprüche 9, 10, 11 oder 17 bis 19, bei dem
- der Modifizierschritt ein Bewerten der Regressionsanalyse umfaßt, um zu bestimmen, ob die Analyse vorbestimmte Qualitätsstandards erfüllt, und 15
  - der Speicherschritt das Speichern der modifizierten Konstanten in dem Speicher umfaßt, wenn die Qualitätsstandards erfüllt sind.
21. Verfahren nach einem der Ansprüche 9, 10, 11 oder 17 bis 20, bei dem die Schritte vor dem Schritt des Modifizierens des vorbestimmten Verhältnisses wenigstens zweimal wiederholt werden, so daß der Rekalibrierpuffer wenigstens zwei zugeordnete Datenpaare enthält. 20
22. Verfahren nach einem der Ansprüche 9, 10, 11 oder 17 bis 21, bei dem
- der Modifizierschritt ein Bewerten der Regressionsanalyse umfaßt, um zu bestimmen, ob die Analyse vorbestimmte Qualitätsstandards erfüllt, und
  - die Schritte vor dem Modifizierschritt wiederholt werden, bis die Qualitätsstandards von der Regressionsanalyse erfüllt werden. 25
23. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 22, bei dem der Vergleichsschritt umfaßt:
- Vergleichen der Differenz zwischen dem idealen Luftmassenstromwert und dem erfaßten Luftmassenstromwert mit einem vorbestimmten Grenzwert, und
  - Modifizieren des vorbestimmten Verhältnisses, wenn die Differenz den Grenzwert überschreitet. 30

---

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

---

- Leerseite -

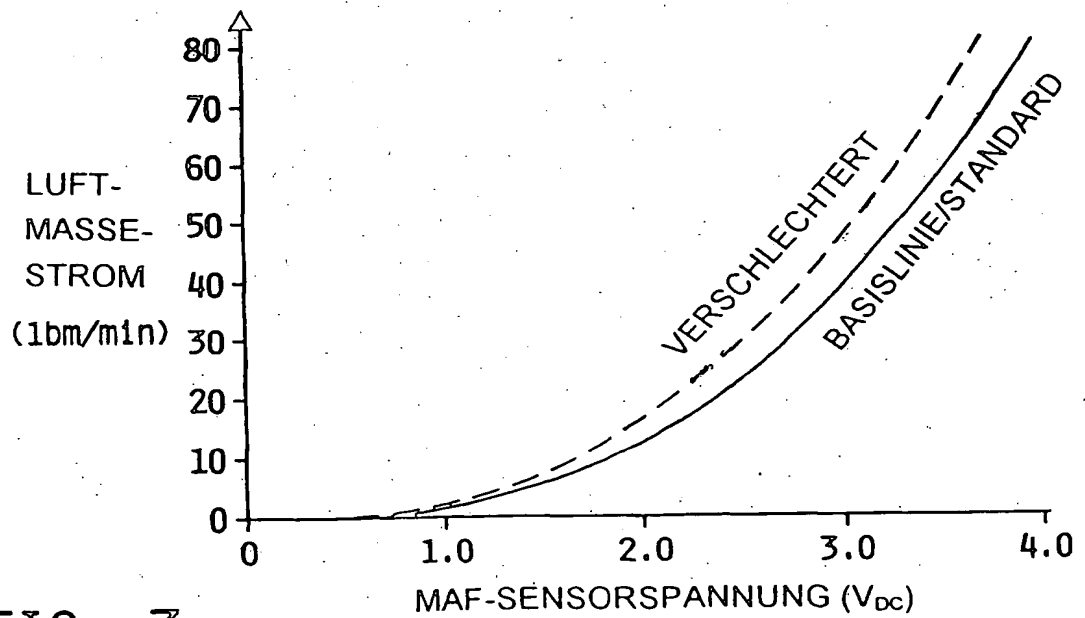
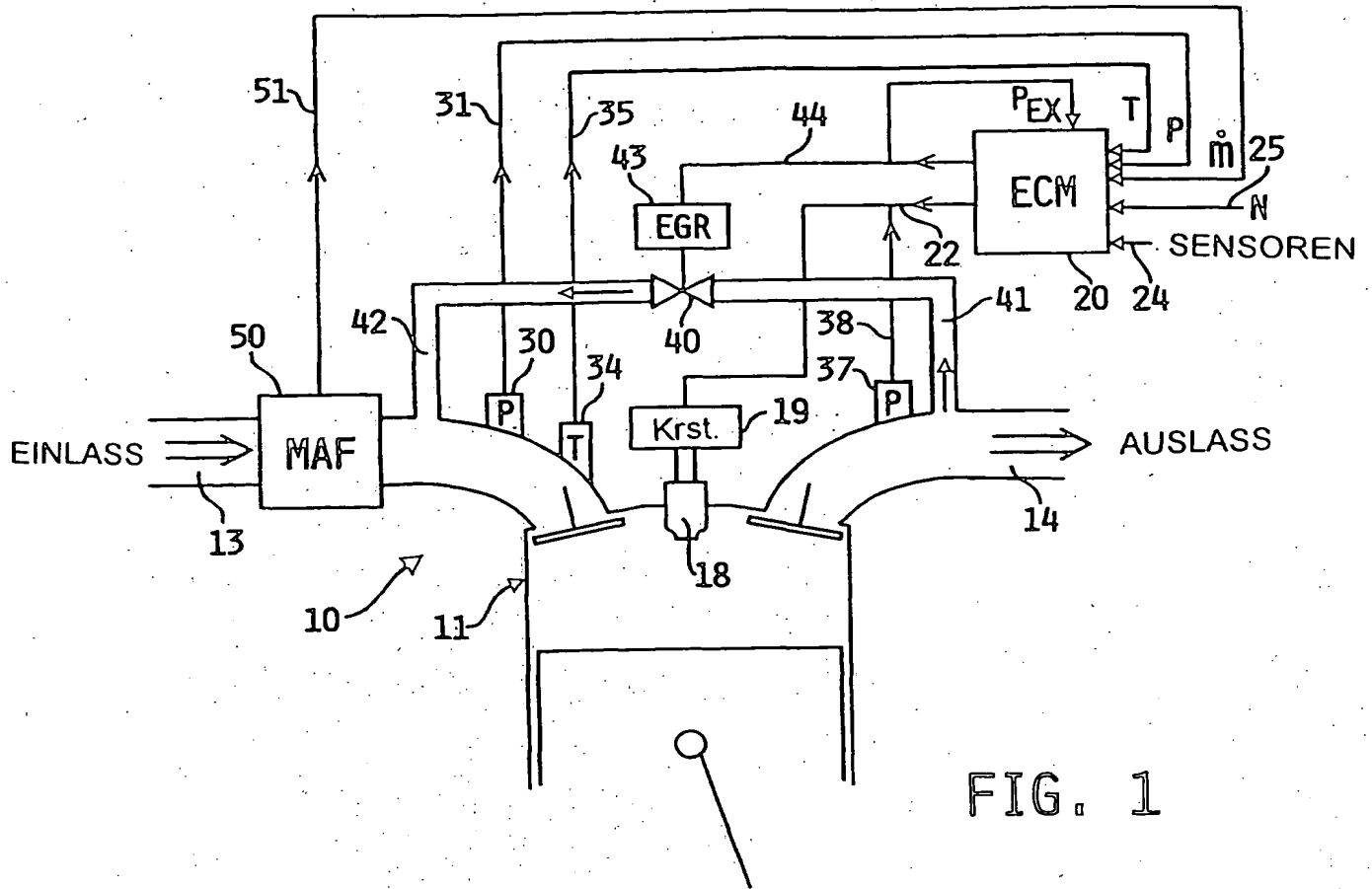
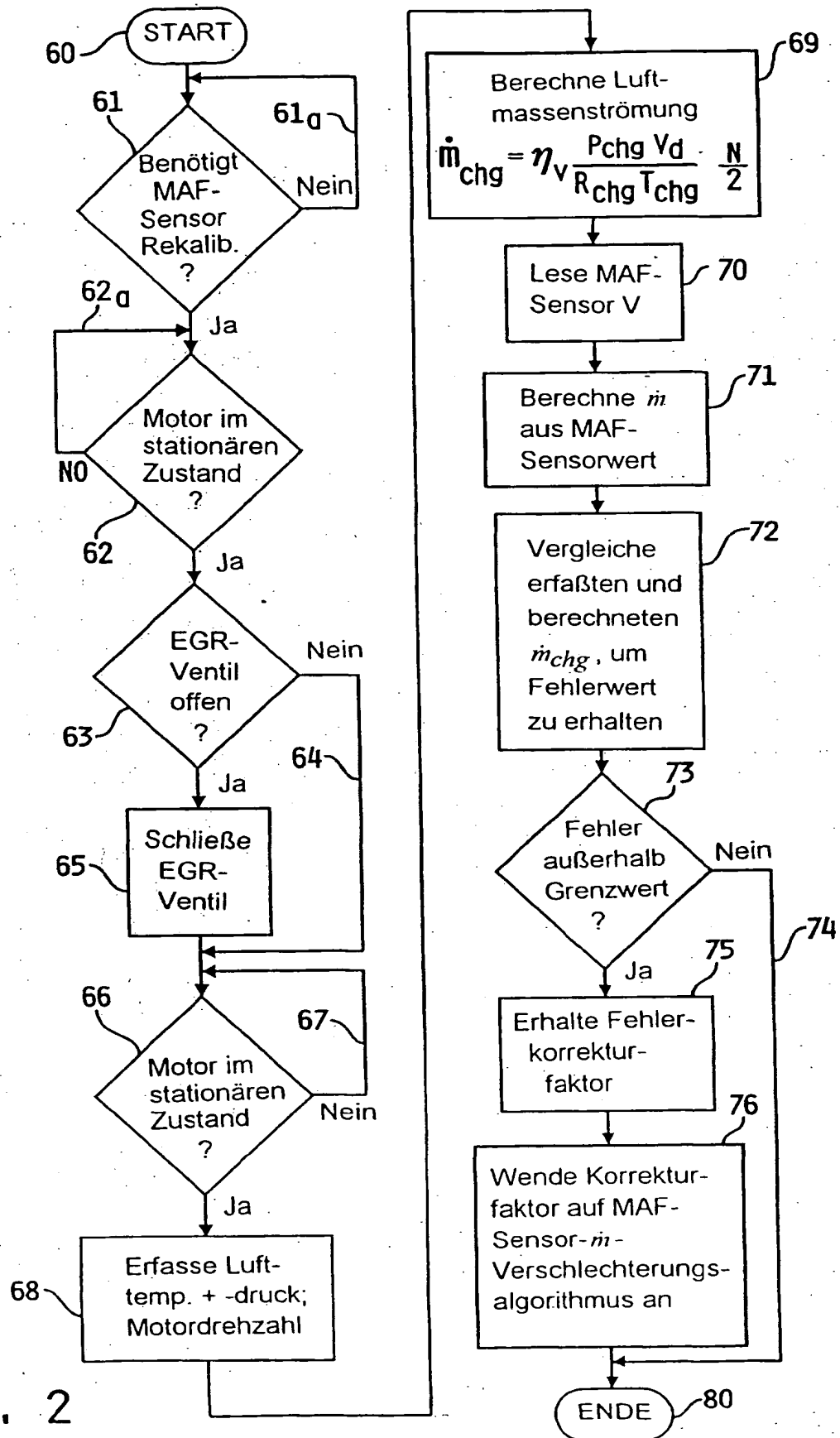


FIG. 3





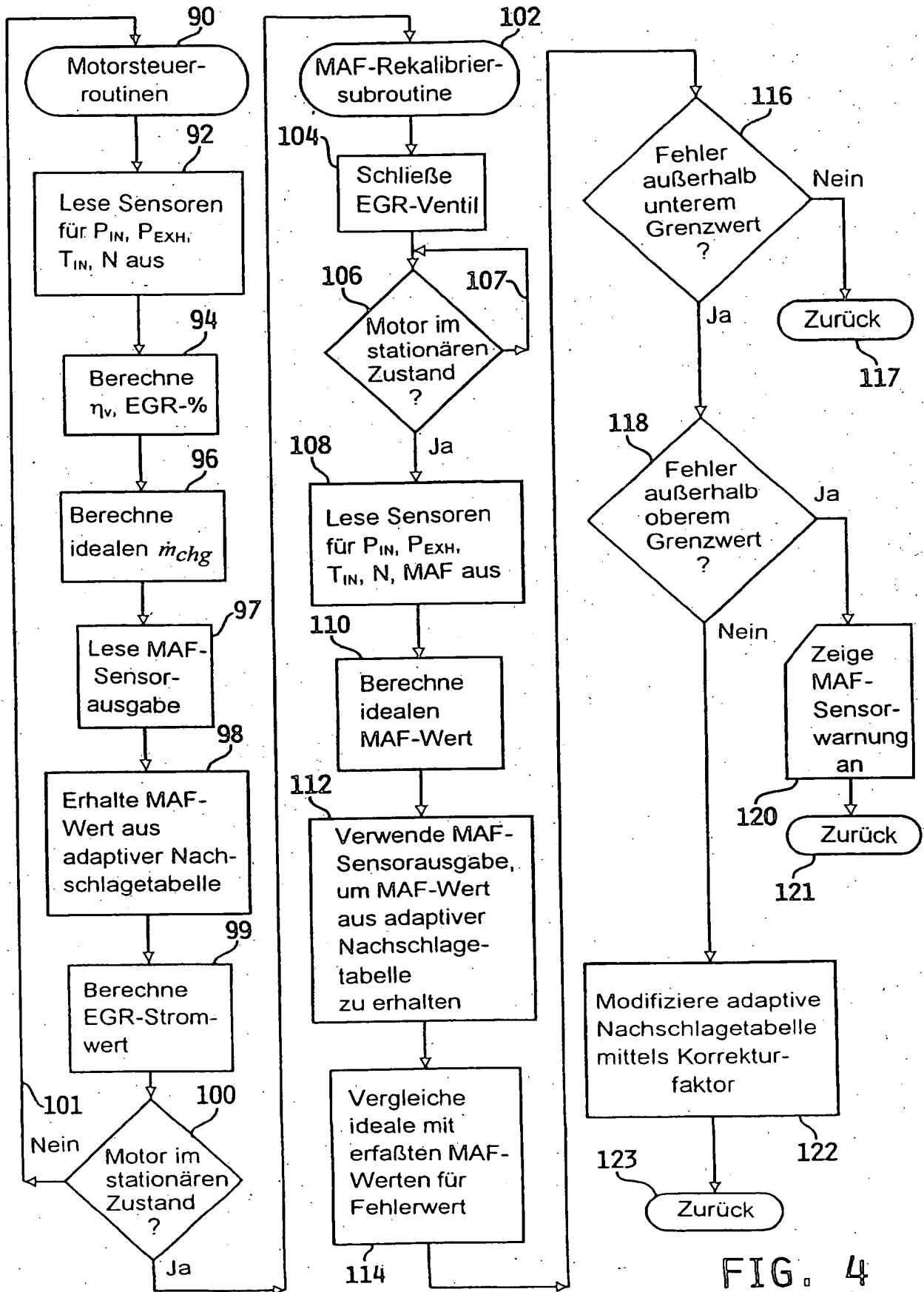


FIG. 4

